

**Zum Einfluss verschiedener Krafttrainingsmethoden
auf Maximalkraft und Kraftausdauer sowie auf die
Muskeldicke des M. quadrizeps femoris**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Philosophie im
Fachbereich G – Bildungswissenschaften
(Pädagogik, Psychologie, Sportwissenschaft)
der Bergischen Universität Wuppertal

vorgelegt von
Andreas Greiwing
aus Münster

Einreichungsjahr: 2005

Erscheinungsjahr: 2006

1. Gutachter: Prof. Dr. Jürgen Freiwald
2. Gutachter: Prof. Dr. Stephan Starischka

Tag der mündlichen Prüfung: 10.08.2006

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20060488

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20060488>]

Danksagung

Die vorliegende Arbeit basiert auf dem Projekt "Krafttrainingsmethoden", welches durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft gefördert wurde (VF0407/05/42/2003-2004).

An dieser Stelle möchte ich mich vor allem bei Prof. Dr. Jürgen Freiwald für seine langjährige Unterstützung bedanken. Im Besonderen bedanke ich mich für seine Bereitschaft sich trotz eines übervollen Terminkalenders immer wieder die Zeit für kurzfristige Besprechungen zu nehmen. Ein weiterer Dank gilt den Probanden, die die endlosen Ultraschallmessungen und Krafttests auch an Wochenenden und Feiertagen über sich ergehen ließen.

Mein Dank gilt dem Chefarzt der Klinik Lindenplatz in Bad Sassendorf Dr. Christian Schönle für die Bereitschaft ein fabrikneues Ultraschallgerät für die Voruntersuchung zur Verfügung zu stellen. Danken möchte ich auch Harald Kemmermann, der die Durchführung der Studie in seinem Gesundheitszentrum "Provital" ermöglichte.

Schließlich möchte ich den Korrekturen dieser Arbeit Katja Cherouny, Christa Kloppenburg und Ralph Schomaker für die Durchsicht dieser umfangreichen Arbeit danken.

Andreas Greiwing

September 2005

Inhaltsverzeichnis

1	VORWORT	7
2	EINLEITUNG	8
3	BESCHREIBUNG.....	10
3.1	DEFINITORISCHE GRUNDLAGEN.....	10
3.2	METHODIK DES KRAFTTRAININGS	15
3.3	BELASTUNGSNORMATIVE	15
3.3.1	<i>Belastungsintensität.....</i>	<i>16</i>
3.3.2	<i>Belastungsdauer.....</i>	<i>26</i>
3.3.3	<i>Belastungsumfang</i>	<i>28</i>
3.3.4	<i>Belastungsdichte.....</i>	<i>29</i>
3.3.5	<i>Belastungsfrequenz (Trainingsfrequenz).....</i>	<i>29</i>
3.4	METHODEN DES KRAFTTRAININGS	29
3.4.1	<i>Mehrsatz-Training bzw. High Volume Training (HVT)</i>	<i>29</i>
3.4.2	<i>Einsatz-Training bzw. Low Volume Training (LVT)</i>	<i>30</i>
3.5	STRUKTUR DES TRAININGS	34
3.5.1	<i>Keine Periodisierung.....</i>	<i>35</i>
3.5.2	<i>Klassische Periodisierung.....</i>	<i>36</i>
3.5.3	<i>Nonlineare Periodisierung.....</i>	<i>38</i>
3.5.4	<i>Vergleich der verschiedenen Periodisierungsmodelle</i>	<i>39</i>
3.6	EFFEKTE DES KRAFTTRAININGS.....	41
3.6.1	<i>Messmethoden der muskulären Anpassungen</i>	<i>41</i>
3.6.2	<i>Adaptationen der Muskulatur.....</i>	<i>63</i>
3.6.3	<i>Neurales System</i>	<i>85</i>
3.6.4	<i>Kardiovaskuläres System</i>	<i>92</i>
3.6.5	<i>Endokrines System.....</i>	<i>99</i>
3.6.6	<i>Körperzusammensetzung.....</i>	<i>105</i>
3.7	VERÄNDERUNGEN DER KONDITIONELLEN FÄHIGKEITEN	110
3.7.1	<i>Kraft</i>	<i>110</i>
3.7.2	<i>Interferenzeffekte mit anderen konditionellen Fähigkeiten</i>	<i>118</i>
4	HYPOTHESEN	123
4.1	OPERATIONALE HYPOTHESEN.....	123
4.1.1	<i>Hypothesen zur Veränderung der Maximalkraft.....</i>	<i>124</i>
4.1.2	<i>Hypothesen zur Veränderung der Kraftausdauer.....</i>	<i>124</i>
4.1.3	<i>Hypothesen zur Veränderung der Muskeldicke.....</i>	<i>125</i>

5	MATERIAL UND METHODE	127
5.1	PROBANDEN.....	127
5.1.1	<i>Trainingsgruppe</i>	128
5.2	MESSMETHODEN.....	131
5.2.1	<i>Aufbau des Testprotokolls</i>	131
5.2.2	<i>Ultraschallmessungen</i>	131
5.2.3	<i>Isometrische Maximalkraft</i>	134
5.2.4	<i>Kraftausdauer</i>	137
5.2.5	<i>Körpergewicht und Körperfettanteil</i>	140
5.3	KRAFTTRAINING	141
5.3.1	<i>Trainingsgruppe Mehrsatz</i>	143
5.3.2	<i>Trainingsgruppe Einsatz</i>	144
5.3.3	<i>Trainingsgruppe High Intensity Training (HIT)</i>	144
5.4	STATISTISCHE VERFAHREN.....	144
5.5	METHODENKRITIK	145
6	ERGEBNISSE	149
6.1	MAXIMALKRAFT	150
6.1.1	<i>Zusammengefasste Maximalkraftentwicklung aller Trainingsgruppen</i>	150
6.1.2	<i>Maximalkraftentwicklung der Trainingsgruppen</i>	152
6.1.3	<i>Maximalkraftentwicklung der einzelnen Probanden</i>	155
6.1.4	<i>Zusammenfassende Beschreibung der Maximalkraftentwicklung</i>	159
6.2	KRAFTAUSDAUER	159
6.2.1	<i>Zusammengefasste Kraftausdauerentwicklung aller Trainingsgruppen</i>	159
6.2.2	<i>Kraftausdauerentwicklung der Trainingsgruppen</i>	161
6.2.3	<i>Kraftausdauerentwicklung der einzelnen Probanden</i>	163
6.2.4	<i>Zusammenfassende Beschreibung der Kraftausdauerentwicklung</i>	166
6.3	MUSKELDICKE	166
6.3.1	<i>Zusammengefasste Muskeldickenveränderungen des M. quadrizeps femoris aller Trainingsgruppen</i>	167
6.3.2	<i>Muskeldickenveränderungen des M. quadrizeps femoris der Trainingsgruppen</i>	169
6.3.3	<i>Muskeldickenveränderungen der einzelnen Probanden</i>	172
6.3.4	<i>Veränderung der Muskeldicken von M. vastus intermedius und M. rectus femoris</i>	177

6.3.5	<i>Zusammenfassende Beschreibung der Muskeldickenentwicklung</i>	178
6.4	KÖRPERGEWICHT UND KÖRPERFETTANTEIL	179
6.4.1	<i>Zusammengefasste Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils aller Trainingsgruppen</i>	179
6.4.2	<i>Körpergewicht und Körperfettanteil der Trainingsgruppen</i>	179
6.4.3	<i>Körpergewicht und Körperfettanteil der einzelnen Probanden</i>	181
6.5	KONTROLLGRUPPE.....	183
6.5.1	<i>Ergebnisse Proband K1</i>	183
6.5.2	<i>Ergebnisse Proband K2-K5</i>	187
6.6	ANALYSE DER MAXIMALEN PARAMETERVERÄNDERUNGEN DER TRAININGSGRUPPEN UND DER KONTROLLGRUPPE	189
6.6.1	<i>Isometrische Maximalkraft</i>	190
6.6.2	<i>Kraftausdauer</i>	191
6.6.3	<i>Muskeldicke</i>	191
6.6.4	<i>Körpergewicht und Körperfettanteil</i>	193
6.7	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER ENTWICKLUNG DER ISOMETRISCHEN MAXIMALKRAFT UND DER MUSKELDICKE D_{KOM}	193
7	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN	195
7.1	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN ZUR VERÄNDERUNG DER MAXIMALKRAFT	195
7.2	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN ZUR VERÄNDERUNG DER KRAFTAUSDAUER	195
7.3	ÜBERPRÜFUNG DER HYPOTHESEN ZUR VERÄNDERUNG DER MUSKELDICKE	195
7.3.1	<i>Muskeldicke D_{30}</i>	195
7.3.2	<i>Muskeldicke D_{50}</i>	195
7.3.3	<i>Muskeldicke D_{70}</i>	196
7.3.4	<i>Muskeldicke D_{kom}</i>	196
8	DISKUSSION	197
8.1	ISOMETRISCHE MAXIMALKRAFT	198
8.2	KRAFTAUSDAUER	205
8.3	MUSKELDICKE	210
8.4	KÖRPERGEWICHT UND KÖRPERFETTANTEIL	216
8.5	ZUSAMMENHANG ZWISCHEN ISOMETRISCHER MAXIMALKRAFT UND MUSKELDICKE D_{KOM}	217
8.6	ZUSAMMENFASSENDER BEWERTUNG DER TRAININGSMETHODEN	217
8.7	KONSEQUENZEN FÜR DIE TRAININGSPRAXIS.....	219

9	LITERATUR.....	221
10	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	243
11	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	246
12	TABELLENVERZEICHNIS	252
13	ANHANG	255

1 Vorwort

Millionen trainieren in Fitnessstudios, um ihre Gesundheit zu erhalten. Leistungssportler und Breitensportler führen sportartunterstützendes Krafttraining durch. Der Bereich der orthopädischen Rehabilitation ist ohne Krafttraining nicht mehr vorstellbar.

Die Bedeutung des Krafttrainings steht jedoch einem beachtlichen Forschungsdefizit in diesem Bereich der Trainingswissenschaft gegenüber. Bei genauerer Betrachtung der einschlägigen Literatur fällt auf, dass ein Großteil der Grundlagen des Krafttrainings nicht auf empirisch gewonnenen Erkenntnissen beruht, sondern auf "Meisterlehren". Dies soll und darf nicht die überragenden Anstrengungen von Wissenschaftlern wie beispielsweise Bührle oder Schmidtbleicher im nationalen Bereich und Kraemer oder Pollock im internationalen Bereich schmälern.

Basale Fragen wie zum Beispiel die, ob eine bestimmte Kraftübung wirklich die gewünschte Muskulatur aktiviert, sind bei weitem nicht geklärt. Die Auswirkung der Variation unterschiedlicher Belastungsnormative ist ein weiterer Bereich, der von erheblicher Bedeutung ist, aber in den vergangenen Jahrzehnten nur spärlich empirisch überprüft wurde. Einer dieser Belastungsnormative, der Belastungsumfang, ist Gegenstand dieser Dissertation. Ist ein Einsatz-Training ebenso effektiv wie ein Mehrsatz-Training? Namhafte Sportwissenschaftler vertreten diese Hypothese und führen hierfür empirische Untersuchungen an. Allerdings wird diese Hypothese von ebenso bedeutenden Sportwissenschaftlern bestritten, die eine Überlegenheit des Mehrsatz-Trainings postulieren und diese ebenfalls experimentell belegen können.

Wenn ein Einsatz-Training in der Tat identische Effekte hervorrufen würde, wäre eine massive Zeitersparnis durch diese Trainingsmethode erreichbar. Dies würde Krafttraining auch für solche Personen interessant machen, denen ein klassisches Mehrsatz-Training zu aufwändig ist.

2 Einleitung

Krafttraining ist ein wesentlicher Bestandteil von Programmen, die zur Verbesserung der allgemeinen Fitness, zur Rehabilitation sowie zur Steigerung der Leistungsfähigkeit im Leistungs- und Hochleistungssport dienen. Der Bereich der allgemeinen Fitness hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Krafttraining (in den verschiedensten Formen) ist ein wesentlicher Bestandteil kommerzieller und nicht-kommerzieller Angebote.

Die Behandlung von chronischen Rückenschmerzen ist ein Beispiel, das sowohl in den Fitnessbereich als auch in den Bereich der medizinischen Rehabilitation hineinreicht. Die Bedeutung des Krafttrainings lässt sich an Hand verschiedener Beispiele belegen. Denner (1998, S. 11) beschreibt in seiner Arbeit: "Die isometrische Maximalkraft aller Hauptfunktionsmuskeln von Rumpf und Halswirbelsäule ist bei Rückenschmerzpatienten hoch signifikant geringer als bei untrainierten beschwerdefreien Referenzpersonen gleichen Alters." Er führt im weiteren Verlauf aus, wie eine Erhöhung dieser Kraftwerte durch ein gezieltes Training mittels Kraftmaschinen zu erreichen ist. Obwohl er einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen Rückenschmerzen und isometrischer Maximalkraft bzw. prozentualer Verbesserung derselben durch Trainingsmaßnahmen verneint (Denner, 1998, S. 180), beschreibt er die Möglichkeit an Hand von individualisierten Kraftschwellen und Kraftkonstellationen eine mögliche Beschwerdefreiheit bzw. ein mögliches geringes Beschwerdeniveau zu erreichen.

Auch im Leistungssport ist Krafttraining zu einem zentralen Bestandteil der Trainingsprogramme geworden. Dies bezieht sich nicht nur auf die Schwerathletik, sondern auch auf die Leichtathletik und auf Mannschaftssportarten. Besonders im amerikanischen Raum ist ein umfangreiches Kraftprogramm untrennbar mit Sportarten wie American Football oder Basketball verbunden (Newton & Kraemer, 1994, S. 20).

In den letzten Jahren hat sich, im nationalen und internationalen Bereich, eine intensive Diskussion zur Effektivität unterschiedlicher Krafttrainingsmethoden entwickelt. Die Lager spalten sich in die Verfechter der Einsatz-Trainingsmethode und der Mehrsatz-Trainingsmethode. Als Befür-

wörter der Einsatz-Methode ist im internationalen Bereich im Besonderen die Arbeitsgruppe um Pollock (Feigenbaum & Pollock, 1997)¹ zu nennen, im nationalen Bereich ist Phillip (1999a; 1999b) durch zwei Arbeiten zu diesem Thema aufgefallen.

Fleck und Kraemer (2004, S. 189) vertreten im internationalen Bereich die These, dass ein Mehrsatz-Training, zumindest in einigen Bereichen, einem Einsatz-Training überlegen ist. Im nationalen Bereich wird diese Ansicht beispielsweise durch Schlumberger und Schmidtbleicher (1999) vertreten.

Wie stellt sich nun die Situation in der praktischen Anwendung im Moment dar? Es existieren leider keine exakten Daten, wie groß der prozentuale Anteil der Fitnessstudios ist, die ein Einsatz-Training verwenden. Allerdings existiert zumindest eine erfolgreiche Fitnessstudiokette (mit über 100 Studios), die ausschließlich die Methode des Einsatz-Trainings verwendet. Es ist davon auszugehen, dass die Majorität der kommerziellen Fitnessstudios die traditionelle und in der Krafttrainingspraxis bewährte Methode des Mehrsatz-Trainings verwendet (vgl. Schlumberger & Schmidtbleicher, 1999).

Selbst im absoluten Spitzensport existiert keine einheitliche Meinung zur Überlegenheit des Mehrsatz-Trainings bzw. des Einsatz-Trainings. Die National Football League (NFL) ist mit einem Budget von allein 4,5 Milliarden Dollar im Jahr 2001 eine äußerst finanzkräftige Institution. Auf Grund der immensen Bedeutung, die Krafttraining für die Sportart American Football hat, ist davon auszugehen, dass die (vermutlich) optimale Trainingsmethode durch die zuständigen Trainer gewählt wird.

In einer Befragung von Ebben und Blackard (2001) zeigten sich jedoch Unterschiede bei den angewandten Trainingsmethoden. Von 30 befragten Kraft- und Ausdauertrainern der NFL Teams bestätigten fünf die Verwendung von Einsatz-Training. Dies belegt, dass Einsatz-Training, auch im Hochleistungssport als Alternative zum klassischen Mehrsatz-Training angesehen wird.

¹ Leider verstarb Dr. Pollock im Jahr 1998.

3 Beschreibung

Die Grundprinzipien des Krafttrainings sind keine Errungenschaft der Neuzeit. Das antike Rom war die Wiege des Krafttrainings (Forbes 1929, zitiert nach Atha, 1981).

Interessanterweise erfolgte im Jahr 1945 ein bedeutender Impuls für das Krafttraining aus dem Bereich der orthopädischen Rehabilitation. DeLorme (1945) beschreibt in seiner Arbeit, wie atrophierte Oberschenkelmuskulatur mittels eines Krafttrainings wieder aufgebaut werden kann. Er empfiehlt ein Trainingsprogramm für den M. quadriceps femoris, welches 10 Sätze zu jeweils 10 Wiederholungen (WDH) umfasst, wobei eine Ausbelastung mit der 10. Wiederholung erreicht werden soll. Hierbei wird zuerst mit einem kleinen Gewicht begonnen. Nach jedem Satz wird das Gewicht erhöht, bis es schließlich im letzten Satz das 10 Wiederholungsmaximum erreicht. Zusätzlich wird ein Mal pro Woche ein 1 Repetition Maximum (RM) Test durchgeführt.

Im Jahre 1948 führten DeLorme und Watkins (1948) den Begriff "Progressive Resistance Exercise" ein, der den Begriff des "Heavy Resistance Exercise" ersetzte, welchen DeLorme (1945) verwendet hatte. Es handelt sich hierbei allerdings nicht nur um eine reine Änderung des Namens, sondern es wurde ebenfalls der Belastungsumfang geändert. DeLorme und Watkins (1948) empfahlen jetzt nicht mehr 10 Sätze a 10 WDH, sondern 3 Sätze a 10 WDH.

In den 90er Jahren explodierte der Wissenstand über das Krafttraining geradezu. Fleck und Kraemer (1997) schreiben hierzu in ihrem Buch: "Since the publication of the first edition, the amount of information about resistance exercise has exploded: More research has been published in the past decade than in the five decades prior to 1987" (preface, S. ix).

3.1 Definitive Grundlagen

Auf Grund der ständig wachsenden Bedeutung des Krafttrainings ist es verständlich, dass sich sowohl im nationalen als auch im internationalen Bereich eine große Anzahl von Wissenschaftlern mit der Thematik befasst hat und immer noch befasst. Die Terminologie stellt ein beträchtliches

Problem dar. Hohmann, Lames und Letzelter (2002) schreiben hierzu: "Bei der Kraft kommt es häufig zu Missverständnissen in Bezug auf die Terminologie. Die Ursache liegt in den verschiedenen Betrachtungsweisen des Phänomens Kraft" (S. 66).

Die Arbeitsgruppe um Müller und Hettinger führte in Deutschland in den fünfziger Jahren systematische Untersuchungen zu unterschiedlichen Belastungsnormativen des Krafttrainings durch (vgl. Hettinger, 1983). Die Autoren Hollmann, Hettinger und Strüder (2000) empfehlen, nach einer Aufzählung verschiedener Kraftbegriffe wie Muskelkraft, Explosivkraft, Startkraft etc.²: "Zwecks Vereinheitlichung dieser Vielfalt von Begriffen empfehlen wir die Benutzung der Standardbezeichnungen «**statische Kraft**» und «**dynamische Kraft**»" (S. 162). Sie definieren den Begriff «**statische Kraft**» als "die Spannung, gemessen in Newton (N), die ein Muskel, oder eine Muskelgruppe in einer bestimmten Position willkürlich gegen einen fixierten Widerstand auszuüben vermag" (Hollmann et al., 2000, S. 162). Die dynamische Kraft ist "die willkürlich ausgeübte Bewegung einer Masse innerhalb eines programmierten Vorgangs. Dynamische Kraft in der Form der Schnellkraft ist charakterisiert durch das Bestreben, eine Masse möglichst explosiv bewegen zu können. Die Definition lautet: Schnellkraft ist dynamische Kraft pro Zeiteinheit" (Hollmann et al., 2000, S. 182).

Die Autoren sehen den Vorteil hier besonders in der deutlichen Verbindung zu der jeweiligen Arbeitsform (statisch bzw. dynamisch). Von diesem Ausgangspunkt differenzieren sie weiter und benennen die Schnellkraft, die Explosivkraft und die Startkraft als Varianten der dynamischen Kraft. Ebenfalls wird der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus als eigene Ebene innerhalb der dynamischen Kraft dargestellt.

² Eine Aufzählung aller Termini und der entsprechenden Definitionen siehe Hollmann et al. 2000, S. 161-162.

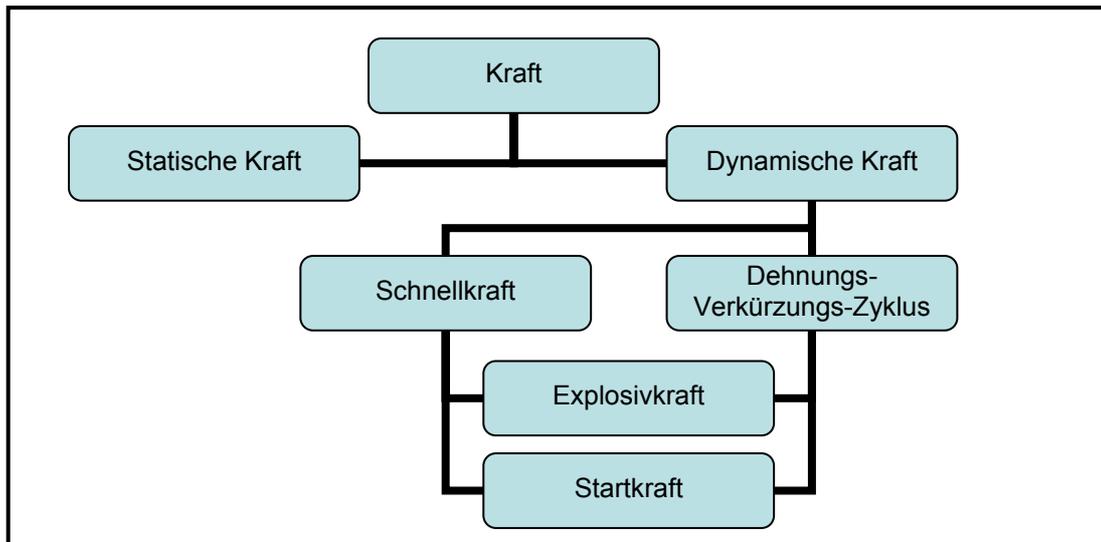


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Kraft (nach Hollmann et al., 2000, S. 162)

Hollmann et al. (2000) bemerken, dass eine Betonung der augenblicklichen absoluten Maximalkraft durch den Zusatz "maximal" erfolgen kann, allerdings erwähnen sie auch: "Wenn jedoch keine besondere Position geschildert wird, versteht sich unter der Benennung statische Kraft bzw. dynamische Kraft automatisch jeweils der Maximalwert bei der betreffenden Messmethode" (Hollmann et al., 2000, S. 162).

Knuttgén und Kraemer (1987) geben folgende Definition des Begriffes Strength: "Strength is the maximal amount of force a muscle group can generate in a specified movement pattern at a specified velocity of movement" (S. 6). Diese Definition gilt für konzentrische, exzentrische und isometrische Kontraktionsformen der Muskulatur.

Die "Freiburger Gruppe" entwickelte in den 70er und 80er Jahren die Struktur der Krafftähigkeiten, wie Sie auch heute noch Bestand hat. Güllich und Schmidtbleicher (1999) strukturieren die motorische Eigenschaft Kraft basierend auf den früheren Forschungen der "Freiburger Gruppe" folgendermaßen: "Unter Maximalkraft wird die höchste Kraft verstanden, die das neuromuskuläre System bei einer maximalen willkürlichen Kontraktion entfalten kann" (S. 224).

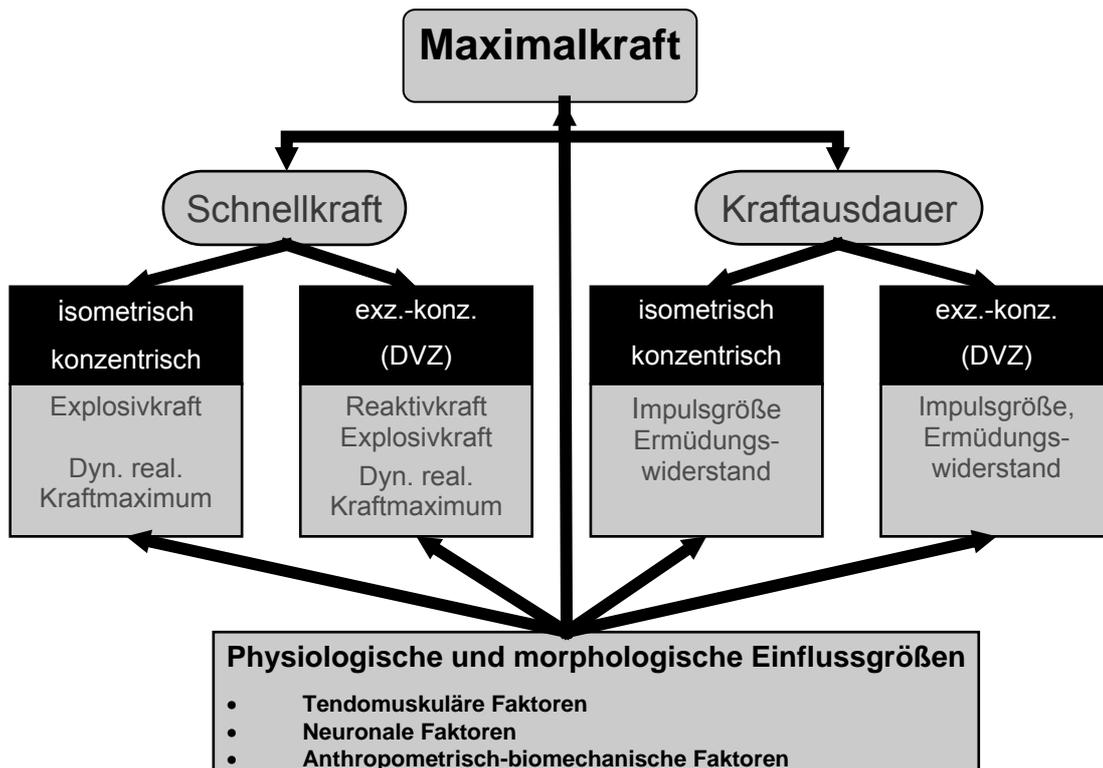


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Struktur der motorischen Eigenschaft Kraft (nach Güllich & Schmidtbleicher 1999, S. 224)

Es findet keine dimensionale Trennung von statischer und dynamischer Maximalkraft statt. Bei einer stufenlos wählbaren Last würde der benötigte beschleunigungswirksame Anteil der Kraft, um eine konzentrische Aktion zu erhalten, gegen Null gehen. Damit würde der Unterschied zwischen der isometrischen und dynamischen Maximalkraft ebenfalls gegen Null gehen. Güllich & Schmidtbleicher (1999) sehen auf Grund der hohen Korrelation zwischen isometrischer und exzentrischer Maximalkraft ($r > 0,85$) ihrer Versuchgruppen ebenfalls keine Notwendigkeit, die exzentrische Maximalkraft als eigenständige Fähigkeit einzustufen. Der Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) wird als relativ eigenständige Dimension betrachtet und in eine kurze ($< 200\text{ms}$) und eine lange Variante ($> 200\text{ms}$) differenziert.

Laut Güllich & Schmidtbleicher (1999, S. 225) ist die Schnellkraft die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst großen Impuls (Kraftstoß) innerhalb einer verfügbaren Zeit zu entfalten. Die Explosivkraft ist die Fähigkeit, einen möglichst steilen Kraftanstieg zu erzeugen. Die Startkraft wird in diesem Artikel von Güllich und Schmidtbleicher (1999) nicht erwähnt.

In einem früheren Artikel von Schmidbleicher und Gollhofer (1991, S. 138) wird die Startkraft als Fähigkeit bezeichnet, im Anfangsmoment der Anspannung einen möglichst hohen Kraftanstieg entwickeln zu können.

Auch in Hollmann et al. (2000) wird die Startkraft als Kraftanstieg vom Kontraktionsbeginn bezeichnet (Hollmann et al., 2000, S. 162). Interessanterweise nennen Schmidbleicher und Gollhofer (1991, S. 138) den Kraftwert, der 50ms nach Kontraktionsbeginn erreicht wird, als Grundlage zur Abschätzung der Startkraft, wohingegen Tidow und Wiemann (1993, S. 99) einen Zeitraum von 30ms nach Kontraktionsbeginn angeben.

In der amerikanischen Literatur zum Krafttraining findet sich keine derartig komplexe Einteilung der Schnellkraft. Der Begriff Power wird definiert als "the rate of performing work. Power during a repetition is defined as the weight lifted times the vertical distance the weight is lifted divided by the time to complete the repetition" (Fleck & Kraemer, 2004, S. 4).

Die Kraftausdauer wird in der Arbeit von Hollmann, Hettinger und Strüder (2000) nicht als Unterform der Kraft erwähnt (vgl. Abbildung 1). Güllich und Schmidbleicher (1999) beschreiben die Kraftausdauer als eine von drei Subkategorien der Kraft, wobei die Maximalkraft allerdings als Basisfähigkeit gesehen wird, von der die Schnellkraft und die Kraftausdauer abhängig sind (vgl. Abbildung 2). Die Kraftausdauer wird definiert als "die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, eine möglichst hohe Impulssumme (Kraftstoßsumme) in einer gegebenen Zeit gegen höhere Lasten zu produzieren" (Güllich & Schmidbleicher, 1999, S. 226). In einer früheren Definition gibt Schmidbleicher (1989) exakte Angaben zu der benötigten Belastungsintensität und der Belastungsdauer:

Mit Kraftausdauer wird die Fähigkeit des neuromuskulären Systems bezeichnet, eine möglichst große Impulssumme in einem definierten Zeitraum (längstens 2 Minuten bei maximaler Auslastung) gegen höhere Lasten (mehr als 30 % der Maximalkraft) zu produzieren und dabei die Reduktion der produzierten Impulse im Verlauf der Belastung möglichst gering zu halten. (Schmidbleicher, 1989, S. 13)

Hohmann et al. (2002) definieren die Kraftausdauer als "die Fähigkeit, einen Bewegungswiderstand andauernd oder wiederholt bewältigen zu können" (S. 84). Auch hier wird der minimal benötigte Bewegungswiderstand mit 30% der Maximalkraft angegeben.

Die dargestellten Definitionen verdeutlichen die terminologischen Schwierigkeiten, die in diesem Bereich der Trainingswissenschaft national, aber in noch wesentlich größerem Maße international bestehen. Im empirischen Teil dieser Arbeit werden, unter anderem, die Parameter Maximalkraft und Kraftausdauer bestimmt.

3.2 Methodik des Krafttrainings

Schmitz beschreibt den Begriff Methodik als "Lehre und Forschung von den Methoden und deren Anwendung. Methoden sind planmäßige und überlegte Verfahren, oder Wege der Erkenntnisgewinnung (→Methode, →Methodologie) bzw. der Vermittlung von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten" (Schmitz, 1992, S. 406).

Krafttraining ist "eine Trainingsart zur Verbesserung der → Maximalkraft, der → Schnellkraft und der → Kraftausdauer" (Schmidtbleicher, 1992, S. 452). Die Methodik des Krafttrainings befasst sich somit mit der Lehre und Forschung der Methoden einer Trainingsart zur Verbesserung der Maximalkraft, Schnellkraft und Kraftausdauer und deren Anwendung.

3.3 Belastungsnormative

Belastungsnormative sind die Elemente, die Trainingsbelastungen und somit auch Trainingsmethoden konstituieren. Die Bedeutung der unterschiedlichen Belastungsnormative für die Effektivität des Krafttrainings ist bei weitem noch nicht geklärt. Allerdings scheint der Belastungsintensität eine kritische Bedeutung zuzukommen (Baechle, Earle, & Wathen, 2000, S. 406). Auf Grund ihrer Bedeutung für die Thematik dieser Arbeit werden die Belastungsintensität, die Belastungsdauer und der Belastungsumfang detailliert beschrieben.

3.3.1 Belastungsintensität

"Die Belastungsintensität (Trainingsintensität) wird durch den Anstrengungsgrad bei einer Übung bestimmt" (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 31). Sie wird zumeist im prozentualen Verhältnis zum Einer-Wiederholungsmaximum (EWM), also zur dynamisch ermittelten Maximalkraft, ausgedrückt.

Je nach Trainingsmethode werden unterschiedliche Trainingsintensitäten vorgegeben. Boeckh-Behrens und Buskies (2001, S. 44-45) geben beispielsweise für die "Methode wiederholter submaximaler Krafteinsätze bis zur Ermüdung bzw. Erschöpfung (Hypertrophiemethode)" eine Intensität zwischen 85%-65% der Maximalkraft an.

Diese Methode ähnelt der "Methode der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung", die von Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 229) beschrieben wird. Hier wird eine Reizintensität³ von 60%-85% des 1 EWM vorgegeben, der Bereich ist also bis auf 5% mit dem Belastungsintensitätsbereich von Boeckh-Behrens und Buskies (2001) identisch. Hohmann et al. (2002, S. 79) geben in ihrem Buch für die "MQM⁴-Intensive Bodybuilding Methode" eine Intensität zwischen 80%-95% vor. Die "MQM-Extensive Bodybuilding Methode" wird hier mit Intensitäten von 60%-70% angegeben.

Baechle et al. (2000, S. 414) präsentieren folgende Empfehlungen, basierend auf dem jeweiligem Trainingsziel:

³ Güllich und Schmidtbleicher verwenden den Begriff Reizintensität für Belastungsintensität.

⁴ MQM=Muskelquerschnittsmethode.

Tabelle 1: Belastungsintensität und Wiederholungszahlen
 Zuordnung basierend auf dem jeweiligen Trainingsziel
 (Baechle et al., 2000, S. 414)

Trainingsziel	Belastungsintensität (% EWM)	Zielwiederholungszahl
Maximalkraft	≥85	≥6
Schnellkraft azyklische Sportart	80-90	1-2
Schnellkraft zyklische Sportart	75-85	3-5
Muskelwachstum	67-85	6-12
Kraftausdauer	≤67	≥12

Baechle et al. (2000) betonen, dass diese Tabelle keine Rückschlüsse auf die maximale Wiederholungszahl bei einer gegebenen Belastungsintensität zulässt. Ein Vergleich der Methoden zum Muskelaufbau ergibt eine minimale Belastungsintensität von 60% und eine maximale Belastungsintensität von 95%. Ein Training, das bei Hohmann et al. (2002) der "MQM – Intensive Bodybuilding Methode" zuzuordnen ist, wäre bei Baechle et al. (2000) dem Maximalkrafttraining zuzuordnen.

Bei einer Betrachtung der mit den prozentualen Angaben gekoppelten Wiederholungszahlen werden die Unterschiede noch deutlicher. Güllich und Schmidtbleicher (1999) geben für ihre "Methode der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung (Hypertrophietraining)" eine Wiederholungszahl von 6-20 pro Serie an. Eine Wiederholungszahl von 20 würde bei Baechle et al. (2000) deutlich in dem Bereich der Kraftausdauer liegen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass keine einheitliche Basis bei der Zuordnung von Belastungsintensitäten zu den verschiedenen Trainingszielen besteht. Ein Kontinuum, welches – je nach gewählter Intensität – hauptsächlich zu Verbesserungen der Maximalkraft, des Muskelwachstums, der Schnellkraft bzw. der Kraftausdauer führt, erscheint plausibler. Es existiert allerdings keine scharfe Trennung zwischen den einzelnen Bereichen.

Tabelle 2: Wiederholungsmaximum Kontinuum (nach Baechle et al., 2000, S. 414)

WM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20+
Trainingsziel	[Maximalkraft****]				[Maximalkraft***]				[Maximalkraft**]				[Maximalkraft*]							
	[Schnellkraft****]				[Schnellkraft***]				[Schnellkraft**]				[Schnellkraft*]							
	[Hypertrophie**]				[Hypertrophie****]				[Hypertrophie***]				[Hypertrophie*]							
	[Kraftausdauer*]				[Kraftausdauer**]				[Kraftausdauer ***]				[Kraftausdauer****]							

**** → Optimale Belastungsintensität für das gegebene Trainingsziel

*** → Gut geeignete Belastungsintensität für das gegebene Trainingsziel

** → Mittel geeignete Belastungsintensität für das gegebene Trainingsziel

* → Schlecht geeignete Belastungsintensität für das gegebene Trainingsziel

Exkurs 1: Kritik an der Trainingssteuerung mittels eines prozentualen Anteils des EWM

Die Verwendung eines Prozentsatzes des EWM zur Bestimmung der Trainingsintensität ist ein übliches Verfahren (Fleck & Kraemer, 2004, S. 167). Ein Beispiel: Ein Fitnesssportler geht in ein Sportstudio, um ein moderates Muskelwachstum zu erzielen. Er erklärt dem Trainer sein Trainingsziel und führt Maximalkrafttests (EWM) für die Übungen Bankdrücken und Beinpresse durch. Er erreicht bei der Übung Bankdrücken ein EWM von 50 kg und bei der Übung Beinpresse ein EWM von 100 kg. Der Trainer orientiert sich an den Empfehlungen der Belastungsintensität von Güllich und Schmidtbleicher (1999)⁵. Da der Trainierende noch keine Erfahrung im Bereich des Krafttrainings hat, bestimmt der Trainer für beide Trainingsübungen eine relativ geringe Belastungsintensität von 60% der Maximalkraft. Dies entspricht einem Trainingsgewicht von 30 kg beim Bankdrücken und 60 kg an der Beinpresse.

Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 229) geben für ihre Hypertrophiemethode eine Wiederholungszahl von 6-20 WDH pro Serie an. Buskies und Boeckh-Behrens (1999). untersuchten in ihrer Arbeit den Zusammenhang zwischen prozentualen Belastungsintensitätsvorgaben und den mit diesen Intensitäten maximal möglichen Wiederholungszahlen. Für die Übungen Bankdrücken an der Langhantel und Beinpresse wurden das EWM fest-

⁵ Methode der submaximalen Kontraktion bis zur Erschöpfung.

gestellt und anschließend wurde die maximal mögliche Wiederholungszahl für Belastungsintensitäten zwischen 50% und 90% des EWM ermittelt.

Es ergaben sich folgende Ergebnisse bei der Stichprobe⁶ mit den genannten Trainingsübungen und einer Belastungsintensität von 60%:

Tabelle 3: Maximal mögliche Wiederholungszahlen bei vorgegebener Belastungsintensität von 60 % des EWM (nach Buskies & Boeckh-Behrens, 1999, S. 5)

Männer			
Übung	\bar{x} ($\pm s$)	Max	Min
Bankdrücken	21,4 ($\pm 3,5$)	26	15
Beinpresse	36,3 ($\pm 17,4$)	74	17
Frauen			
Übung	\bar{x} ($\pm s$)	Max	Min
Bankdrücken	24,9 ($\pm 6,4$)	36	17
Beinpresse	39,2 ($\pm 17,4$)	73	20

Die Ergebnisse belegen die gravierenden Unterschiede zwischen den maximalen Wiederholungszahlen bei einer pauschal festgelegten Intensitätsvorgabe und unterschiedlichen Übungen. Die durchschnittliche Wiederholungszahl liegt für die Übung Bankdrücken mit Durchschnittswerten von 21,4 WDH ($\pm 3,5$) bei den Männern und 24,9 WDH ($\pm 6,4$) bei den Frauen knapp oberhalb der Wiederholungsvorgabe von Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 229).

Die Messungen für die Übung Beinpresse differieren allerdings mit Durchschnittswerten von 36,3 WDH ($\pm 17,4$) bei den Männern und 39,2 WDH ($\pm 17,4$) bei den Frauen derartig von den Vorgaben, dass für einen Großteil der Probanden in diesem Fall nicht mehr von einer sinnvollen Trainingssteuerung gesprochen werden kann.

Werden neben dem Problem der übungsspezifischen Unterschiede auch noch die interindividuellen Unterschiede betrachtet, wird deutlich, dass eine globale Belastungsintensitätsvorgabe nicht zu optimalen Trainingserfolgen führen kann. Die minimale und maximale Wiederholungszahl beträgt bei den Männern für der Übung Bankdrücken 15 respektive 26 WDH und bei der

⁶ Es nahmen insgesamt 20 Sportstudenten an der Untersuchung Teil, 10 Männer und 10 Frauen.

Übung Beinpresse 17 respektive 74 WDH. Bei den Frauen betragen die minimalen bzw. maximalen Wiederholungszahlen für der Übung Bankdrücken 17 respektive 36 WDH. Für der Übung Beinpresse betragen sie 20 respektive 73 WDH.

Die hohen Wiederholungszahlen von bis zu 74 WDH liegen in einem Bereich, der eine optimale Muskelhypertrophie mehr als unwahrscheinlich erscheinen lässt. Dies bedeutet für unser Beispiel, dass die Belastungsintensitätsvorgabe zu optimalen Ergebnissen führen könnte, es aber wesentlich wahrscheinlicher ist, dass die Resultate, zumindest für die Beinmuskulatur, nicht optimal ausfallen würden.

Ein Bereich, der in der Arbeit von Buskies und Boeckh-Behrens nicht berücksichtigt wurde, ist der Trainingszustand der Probanden. Die Auswirkung des Trainingszustandes auf die maximal mögliche Wiederholungszahl wird von Hoeger, Hopkins, Barette und Hale (1990) in ihrer Arbeit beschrieben. Die Autoren erklären, dass der Trainingszustand ebenfalls Auswirkungen auf die maximal mögliche Wiederholungszahl hat, finden allerdings nur zwischen den trainierten bzw. untrainierten Frauen signifikante Unterschiede bei allen Trainingsübungen⁷. Bei den Männern finden sich bei allen Übungen außer an der Beinpresse und beim Bankdrücken signifikante Unterschiede zwischen Trainierten und Untrainierten.

Wenn man die Ergebnisse der Untersuchungen von Hoeger et al. (1990) mit denen von Buskies und Boeckh-Behrens (1999) vergleicht, so fällt auf, dass diese sich ähneln. Hoeger et al. (1990) geben für die Übung Beinpresse bei den untrainierten Männern einen Wert von 33,9 WDH ($\pm 14,2$) an, bei den trainierten Männern 45,5 WDH ($\pm 23,5$). Die Belastungsintensität betrug 60% des dynamischen EWM. Der Wert von 36,3 WDH ($\pm 17,4$), den Buskies und Boeckh-Behrens (1999) für diese Übung mit einer Belastungsintensität von 60% des dynamischen EWM angeben, stimmt in etwa mit dem Wert der untrainierten Gruppe von Hoeger et al. (1990) überein.

Baechle et al. (2000, S. 407) geben zwar eine Tabelle an, die einen allgemein gültigen Zusammenhang zwischen der Belastungsintensität und

⁷ Es wurden folgende Übungen durchgeführt: Leg press (Beinpresse), bench press (Bankdrücken), lateral pull-down (Latziehen), knee extension (Beinstrecken), sit-up, arm curl und leg curl (Beinbeugen).

der maximal möglichen Wiederholungszahl herstellt, sie relativieren allerdings an der gleichen Stelle die Bedeutung dieser Tabelle. Besonders die Ausführungen von Boeckh-Behrens und Buskies (2001, S. 44-45) überraschen. Die Autoren schreiben unterhalb der Tabelle, die die Basismethoden des Krafttrainings beschreibt: "Präzise Angaben zur Belastungsintensität in Prozent der Maximalkraft sind problematisch" (S. 44), dennoch geben sie in dieser Tabelle wieder die klassischen Relationen zwischen Belastungsintensität und Wiederholungszahlen an. Im weiteren Verlauf ihrer Arbeit verstärken sie noch ein Mal die Kritik an der Beziehung zwischen Belastungsintensität und Wiederholungszahl: "Selbst dann, wenn eine Maximalkraftbestimmung korrekt vorgenommen werden kann, ist sie dennoch in den meisten Fällen als Bezugsgröße zur Steuerung der Trainingsintensität wenig geeignet" (S. 67).

Auch in anderen aktuellen Veröffentlichungen findet sich nach wie vor die Angabe von direkten Beziehungen zwischen Prozentangaben des EWM und (maximalen) Wiederholungszahlen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 229-232; Hohmann et al., 2002, S. 79).

Zusammenfassend kann eine unspezifische Steuerung der Belastungsintensität an Hand von Prozentangaben der Maximalkraft und damit verbundenen Wiederholungszahlen nicht als geeignete Konzeption zur Trainingssteuerung angesehen werden. An Hand der vorliegenden Untersuchungen (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Hoeger, Barette, Hale, & Hopkins, 1987; Hoeger et al., 1990) würde eine übungsspezifische Modifizierung vorhandener Angaben zum Verhältnis von Prozentangaben der Maximalkraft und damit verbundenen Wiederholungszahlen zumindest eine grobe Steuerung der Belastungsintensität zulassen.

Steuerung der Belastungsintensität über den Wiederholungszahlenbereich in einem Satz (goal repetitions)

Eine alternative Konzeption zur Bestimmung der Trainingsintensität stellen Baechle et al. (2000, S. 409) vor. Die Bestimmung der Last erfolgt durch eine Orientierung an "goal repetitions". Ausgangspunkt hierfür ist die Bedeutung der Wiederholungszahl und somit der Belastungsdauer für den Trainingserfolg. Folgendes Schema verdeutlicht die Abfolge, mit der das

Trainingsgewicht und somit die Belastungsintensität mit Hilfe des "goal repetition" Systems ermittelt wird:

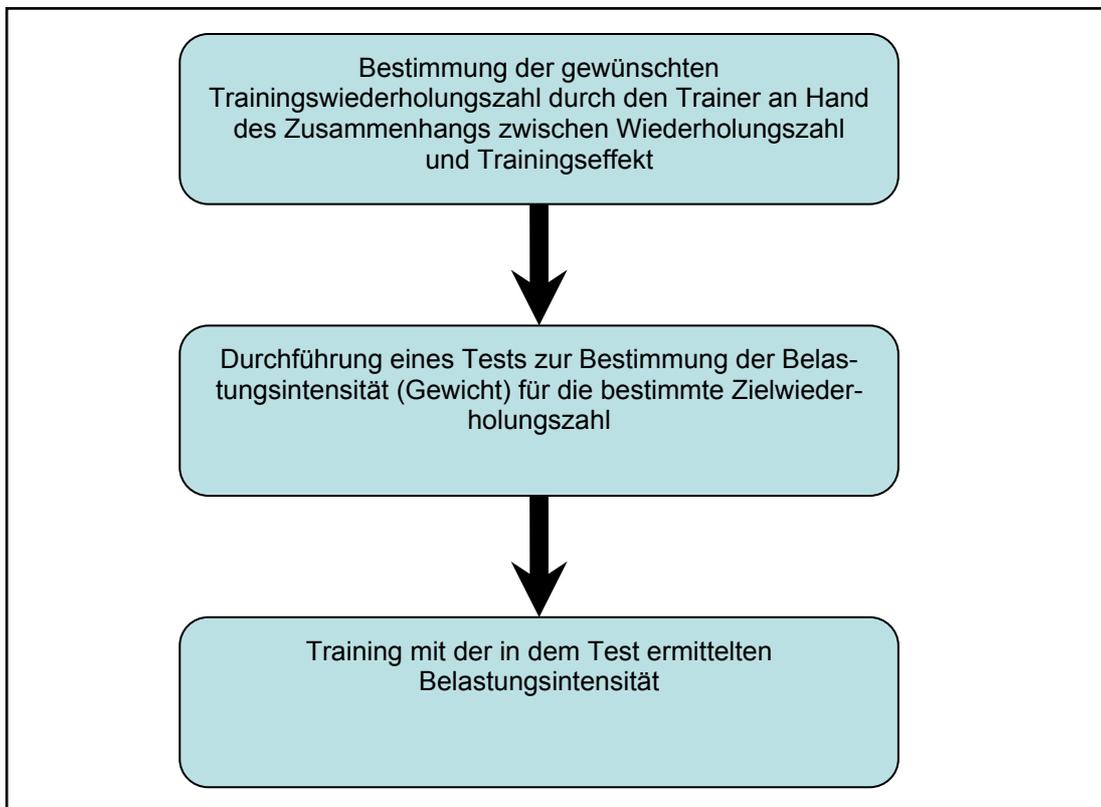


Abbildung 3: Bestimmung der Belastungsintensität mittels des "goal repetition" Systems (nach Baechle et al., 2000, S. 413)

Dieses System basiert auf der Bedeutung der Wiederholungszahl für den erwünschten Trainingseffekt. Der Wiederholungszahl wird hier eine größere Bedeutung zugeschrieben als der Belastungsintensität.

Beispielsweise würde ein Hypertrophietraining an der Beinpresse, welches nach dem "goal repetition" System gesteuert wird, bei einer Wiederholungszahl zwischen 10-12 WDH eine Belastungsintensität von ca. 90% des EWM aufweisen⁸. Die Belastungsintensität wäre einem Maximalkrafttraining zuzuordnen und keinem Hypertrophietraining. Es stellt sich die Frage, inwieweit es sich hierbei um ein Training handelt, welches hauptsächlich eine Muskelhypertrophie zur Folge hat, oder ob dieses Training vor allem einen Steigerung der Maximalkraft bewirkt.

⁸ Das Beispiel bezieht sich auf die Untersuchung von Buskies & Boeckh-Behrens 1999, S. 5,

Steuerung der Belastungsintensität über das subjektive Belastungsempfinden

Eine weitere Möglichkeit der Steuerung der Belastungsintensität besteht in der Nutzung des subjektiven Belastungsempfindens. Hierbei wird das Anstrengungsempfinden des Trainierenden mit objektiven Parametern wie zum Beispiel der Maximalkraft korreliert. Die bekannteste Skala zur Erfassung des subjektiven Belastungsempfindens ist die 15-stufige RPE-Skala von Borg (1973). Buskies und Boeckh-Behrens modifizierten diese Einteilung und entwickelten eine siebenstufige Skala.

RPE-Skala nach Borg		Buskies/Boeckh-Behrens-Skala	
6		1	sehr leicht
7	Very, very light	2	leicht
8		3	leicht-mittel
9	Very light	4	mittel
10		5	mittel – schwer
11	Fairly light	6	schwer
12		7	sehr schwer
13	Somewhat hard		
14			
15	Hard		
16			
17	Very hard		
18			
19	Very, very hard		
20			

Abbildung 4: Skalen zur Erfassung des subjektiven Belastungsempfindens (Borg 1973, S. 92; Buskies 1999, S. 15)

Boeckh-Behrens und Buskies (2001) beschreiben die Gestaltung der Belastungsintensität nach der Methode des sanften Krafttrainings: "Für ein Kraftausdauertraining beispielsweise wählt er durch Ausprobieren eine Gewichtsbelastung z. Bsp. an der Beinpresse, bei der er die Belastung ab ca. der 20. Wiederholung (für ein Muskelaufbautraining ab ca. der 10.-12. Wiederholung) als «mittel» bzw. «schwer» empfindet" (S. 48). Die Autoren betonen, dass es hierbei nicht zu einer muskulären Ausbelastung des Trainierenden kommt.

Exkurs 2: Ist ein Training bis zur muskulären Erschöpfung notwendig?

Boeckh-Behrens und Buskies (2001)⁹ betonen in ihrer Arbeit die Vorteile eines sanften Krafttrainings, welches nicht bis zur muskulären Erschöpfung betrieben wird. Sie nennen unter anderem folgende Vorteile dieser Trainingsmethode gegenüber einem Training bis zur muskulären Ausbelastung (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 54):

- Geringe Belastung des aktiven und passiven Bewegungsapparates
- Reduzierte Gefahr von Bewegungsabfälschungen
- Verringerte Muskelkatergefahr
- Die Gefahr einer Pressatmung wird verringert
- Niedrigere Herzfrequenz- und Blutdruckwerte
- Niedrigere Laktatwerte
- Reduzierte Ausschüttung von Stresshormonen (Katecholamine)
- Verringerte immunologische Belastung
- Verkürzung der Regenerationsphasen

Die Autoren führen eine Anzahl ihrer eigenen empirischen Untersuchungen an, die bestätigen, dass ein sanftes Krafttraining bezüglich der Parameter Maximalkraft und Kraftausdauer zu Verbesserungen führt, "die nicht sehr viel geringer sind als die Zuwächse, die bei einem «harten» Krafttraining bis zur letztmöglichen Wiederholung im Satz erreicht werden" (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 49).

Sie beschreiben in ihrem Buch eine empirische Untersuchung, die die Veränderungen der Maximalkraftwerte und der Kraftausdauerwerte nach einem achtwöchigen Krafttraining zeigt¹⁰ (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 50). 64 männliche Sportstudenten fungierten als Probanden. 15 Probanden wurden einer Kontrollgruppe zugewiesen, die anderen 49 Teilnehmer wurden auf drei Trainingsgruppen verteilt. Die erste Trainingsgruppe trainierte mit einer mittleren Belastungsintensität, die zweite mit einer schweren

⁹ Basierend, unter anderem, auf der Arbeit von Buskies 1999.

¹⁰ Die dargestellten Ergebnisse basieren auf der Arbeit von Buskies, 1999, S. 126-152.

Belastungsintensität und die dritte Gruppe trainierte bis zur Ausbelastung¹¹. Es wurden 6 Übungen¹² jeweils mit 4 Sätzen und einer Wiederholungszahl von 15 WDH (± 3) absolviert. Die folgende Tabelle gibt die Veränderungen der Maximalkraftwerte der Untersuchung wieder.

Tabelle 4: Veränderungen der Maximalkraftwerte nach einem achtwöchigen Krafttraining mit unterschiedlichen Belastungsintensitäten (nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 50)

Übungen	Kontroll g (\pm s)	Mittel g (\pm s)	Schwer g (\pm s)	Ausbelastung g (\pm s)
Lat-ziehen	-1,2% ($\pm 5,4$)	9,1% ($\pm 4,9$)	14,0% ($\pm 6,0$)	17,6% ($\pm 6,0$)
Bankdrücken	3,1% ($\pm 7,7$)	8,0% ($\pm 9,3$)	7,4% ($\pm 6,7$)	12,7% ($\pm 6,1$)
Beinpressen	0,5% ($\pm 6,2$)	9,6% ($\pm 7,0$)	12,4% ($\pm 9,5$)	12,9% ($\pm 8,0$)
Beinbeugen	3,8% ($\pm 7,9$)	11,0% ($\pm 7,6$)	21,4% ($\pm 11,3$)	22,4% ($\pm 12,9$)
Rumpfflexion	0,7% ($\pm 5,4$)	6,4% ($\pm 7,4$)	3,6% ($\pm 5,9$)*	8,5% ($\pm 10,6$)
Backextension	-0,6% ($\pm 12,2$)	8,3% ($\pm 9,7$)	8,1% ($\pm 10,3$)	11,1% ($\pm 13,0$)

Bei dem mit einem Sternchen versehenen Wert handelt es sich um eine signifikante Verbesserung der Maximalkraft ($p < 0,05$). Alle anderen Veränderungen in den Trainingsgruppen sind sehr signifikant ($p < 0,01$).

Die Aussage, dass die Zuwächse eines sanften Krafttrainings, zumindest bei der Maximalkraft, nicht sehr viel geringer seien als ein Krafttraining, das bis zur muskulären Erschöpfung durchgeführt wird, lassen sich an Hand der Tabelle nicht eindeutig nachvollziehen. Ein Vergleich der Maximalkraftwerte der Gruppe "Schwer" und der Gruppe "Ausbelastung" bei den Übungen Bankdrücken und Latissimusziehen führt zu anderen Schlussfolgerungen. Beispielsweise beträgt die prozentuale Verbesserung der Gruppe "Schwer" beim Bankdrücken 7,4% ($\pm 6,7$). Die Gruppe "Ausbelastung" hingegen verbessert sich um 12,7% ($\pm 6,1$). Dies entspricht ca. dem doppelten Wert. In der Originalarbeit (Buskies, 1999, S. 135) weist der Autor auch darauf hin, dass zwischen den Zuwachsraten der Trainingsgruppen "Schwer"

¹¹ Die Bestimmung der Belastungsintensität wurde an Hand des subjektiven Belastungsempfindens nach der Buskies/Boeckh-Behrens-Skala durchgeführt.

¹² Lat-Ziehen, Bankdrücken, Beinpressen, Beinbeugen, Rumpfflexion und Backextension.

und "Ausbelastung" ein signifikanter Unterschied besteht. Interessanterweise fehlt dieser Hinweis in dem Buch von Boeckh-Behrens & Buskies (2001).

3.3.2 Belastungsdauer

Die Belastungsdauer¹³ "kennzeichnet die Zeit, in der ein einzelner Trainingsinhalt oder eine Serie von Trainingsübungen auf den Organismus einwirkt" (Letzelter & Letzelter, 1986, S. 213). Heiduk, Preuss und Steinhöfer (2002) betonen in ihrer Arbeit zur optimalen Satzzahl im Krafttraining die Bedeutung der Belastungsdauer. Sie vergleichen ein Trainingsprotokoll mit einer sehr langsamen Bewegungsausführung (HIT=High Intensity Training)¹⁴ mit einem Trainingsprotokoll mit einer schnelleren Bewegungsausführung (HVT=High Volume Training).

Eine Gegenüberstellung der Wiederholungszahlen der Trainingsmethoden wäre, nach Ansicht der Autoren, nicht sinnvoll, da die Muskulatur durch die sehr langsame Bewegungsausführung beim HIT bei identischer Wiederholungszahl deutlich länger unter Spannung verbringt als beim HVT. Sie nutzten statt dessen den Parameter der Anspannungszeit (AZ) (Heiduk et al., 2002, S. 8).

Morrissey, Harman und Johnson (1995) stellen in ihrem Übersichtsartikel zwei Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Belastungsdauer auf Trainingseffekte vor. Beide Untersuchungen befassen sich mit der Muskulatur der unteren Extremitäten und beide beinhalten die Maximalkraft bei der Kniebeuge und die maximale vertikale Sprunghöhe als abhängige Variablen. Die erste Untersuchung (Palmieri, 1987) wurde an Nautilus-Trainingsmaschinen durchgeführt. Es wurden drei Gruppen gebildet. Die erste Gruppe führte die konzentrische Phase der Trainingsübungen in maximal einer dreiviertel Sekunde aus; die zweite Gruppe vollzog diesen Bewegungsabschnitt innerhalb von 2 Sekunden. Die dritte Gruppe trainierte in den ersten 6 Wochen mit der langsamen Bewegungsausführung in der konzentrischen Phase und die letzten 4 Wochen mit der schnellen Bewegungsausführung.

¹³ Letzelter & Letzelter (1986) verwenden den Begriff der "Reizdauer" anstatt "Belastungsdauer". Auch für die anderen Belastungsnormative ersetzen sie den Begriff "Belastung" durch den Begriff "Reiz".

¹⁴ In dem HIT-Trainingsprotokoll werden zusätzlich isometrische Kontraktionen durchgeführt. Dies führt natürlich zu einer weiteren Verlängerung der Anspannungszeit.

rung. Die Beinkraft bei der vertikalen Sprungausführung verbesserte sich in allen drei Gruppen signifikant, allerdings ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Young und Bilby (1993) untersuchten den Einfluss der Geschwindigkeit der Bewegungsausführung bei der Kniebeuge. Zwei Gruppen, die mit unterschiedlichen Ausführungsgeschwindigkeiten bei der Kniebeuge trainierten, wurden verglichen. Die erste Gruppe sollte das Gewicht in der exzentrischen Phase in "a slow and controlled manner" herablassen und in der konzentrischen Phase "upon reaching the bottom position, explode upward as fast as possible in an attempt to accelerate the bar" (Young & Bilby, 1993, S. 173). Die zweite Gruppe wurde angewiesen "always lower and raise the bar in a slow and controlled manner so that acceleration is minimized" (Young & Bilby, 1993, S. 173). Getestet wurden das EWM der Kniebeuge, das vertikale Sprungvermögen, die isometrische Maximalkraft in der Kniebeuge und der Umfang der Oberschenkelmuskulatur. Beide Gruppen verbesserten sich signifikant in allen untersuchten Variablen. Es zeigten sich aber bezüglich der Zuwächse keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

Morrissey et al. (1995) kommen zusammenfassend zu folgendem Ergebnis: "Thus studies in which the identical exercise was performed at different speeds have not shown an advantage to a particular exercise movement speed" (S. 656). Dieses Ergebnis bezieht sich allerdings nur auf das dynamische Krafttraining an Kraftmaschinen bzw. Freihanteln. Höhere Bewegungsgeschwindigkeiten beim isokinetischen Training scheinen zu besseren Transfereffekten auf schnellkräftige Bewegungen zu führen. Allerdings existieren hierzu ebenfalls nur wenige Untersuchungen, die keine abschließende Beurteilung erlauben (Morrissey et al., 1995, S. 655).

Das Nautilus-Training, welches von Arthur Jones in den späten sechziger Jahren entwickelt und von Darden (1986) zusammenfassend beschrieben wurde, sieht exakte Angaben für die Ausführungsgeschwindigkeit und somit für die Belastungsdauer vor¹⁵. Laut Darden (1986) soll die konzentri-

¹⁵ Die Belastungsdauer ist nicht der einzige Belastungsnormativ, der von Darden exakt vorgegeben wird. Auch die anderen Belastungsnormative werden von ihm präzise vorgeschrieben.

sche Phase der Bewegung mindestens 2 Sekunden und die exzentrische Phase mindestens 4 Sekunden dauern.

Diese exakte Vorgabe der Bewegungsgeschwindigkeit ist keineswegs üblich. Im deutschsprachigen Bereich sind Angaben wie "langsam bis zügig" oder "explosiv" gebräuchlich (vgl. Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 43; Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 229-230). Allerdings ist die ungenaue Vorgabe der Belastungsdauer kein nationales Phänomen. Auch im englischsprachigen Raum sind entsprechende Vorgaben nicht ungewöhnlich. Das American College of Sports Medicine (1998) empfiehlt: "Resistance training for the average participant should be rhythmical, performed at a moderate-to-slow controlled speed, through a full ROM, and with a normal breathing pattern during the lifting movements" (S. 983).

3.3.3 Belastungsumfang

"Der Belastungsumfang (Reizumfang) stellt die Gesamtmenge an Belastungsreizen bzw. der bewältigten Last in Kilogramm bei einer Übung dar, der Trainingsumfang die bei einer Trainingseinheit" (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 33).

Fleck und Kraemer (2004, S. 7) bezeichnen den Begriff des Trainingsumfangs als "Training Volume". Besonders interessant ist hier die Aussage der Autoren bezüglich einer Beziehung zwischen Trainingsvolumen und Muskelhypertrophie: "A relationship exists between training volume and training outcomes, such as muscular hypertrophy, decreased percentage of body fat, increased fat-free mass, and even motor performance" (Fleck & Kraemer, 2004, S. 7). Diese Aussage impliziert, dass zum Erreichen von maximaler Muskelhypertrophie wie es im Bereich des Bodybuilding angestrebt wird, ein großes Trainingsvolumen benötigt wird. Die Trainingshäufigkeit und die Dauer der Trainingseinheiten haben einen direkten Einfluss auf das Trainingsvolumen. Die Autoren geben allerdings keinen direkten Bezug auf eine benötigte Satzzahl an. Theoretisch könnte ein hohes Trainingsvolumen auch mit einem Einsatztraining erreicht werden, welches entweder mit einer großen Anzahl unterschiedlicher Übungen und/oder mit einer hohen Trainingsfrequenz durchgeführt würde.

3.3.4 Belastungsdichte

Die Belastungsdichte "ist die zeitliche Aufeinanderfolge einzelner Übungen oder Serien. Eine hohe Reizdichte liegt bei kurzen Pausen vor, eine niedrige bei langen Pausen" (Letzelter & Letzelter, 1986, S. 217).

3.3.5 Belastungsfrequenz (Trainingsfrequenz)

Die Trainingsfrequenz gibt die "Anzahl der Trainingseinheiten pro Woche an" (Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 34).

3.4 Methoden des Krafttrainings

Eine Methode ist ein "planmäßiges Verfahren zur Erreichung eines bestimmten Zweckes auf wissenschaftlichem oder praktischem Gebiet" (Schmitz, 1992, S. 404). Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 228-233) sowie Boeckh-Behrens und Buskies (2001, S. 43-65) führen in ihren Arbeiten eine große Anzahl derartiger Methoden auf. Fleck und Kraemer (2004, S. 187-207) beschreiben ebenfalls eine Reihe unterschiedlicher Trainingsmethoden. Unter den ersten drei beschriebenen Trainingsmethoden, die von Fleck und Kraemer (2004, S. 188-189) aufgeführt werden, sind das Mehrsatz-Training und das Einsatz-Training. Heiduk et al. (2002) ersetzen diese Begriffe durch High volume training (HVT) für das Mehrsatz-Training und Low volume training (LVT) für das Einsatz-Training (Heiduk et al., 2002, S. 5), da sie eine Unterform des Einsatz-Trainings präsentieren (das High intensity training), in der auch 2 Sätze pro Übung möglich sind. Dies widerspricht offensichtlich dem Oberbegriff des Einsatz-Trainings.

3.4.1 Mehrsatz-Training bzw. High Volume Training (HVT)

Das Mehrsatz-Training wurde in den 40er Jahren des 20. Jahrhunderts (Darden 1973, zitiert nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 189) populär und ist auch heute noch die Standardmethode in den unterschiedlichsten Bereichen des Krafttrainings (Hohmann et al., 2002, S. 78-79). Mehrsatz-Training bedeutet wörtlich genommen nur die Ausprägung eines Teils des Belastungsvolumens. Bei einem Training nach der Methode des Mehrsatz-Trainings wird jede Übung mit mehr als einem Satz durchgeführt. Es stellt sich die Frage nach der optimalen Satzzahl, um maximale Kraftgewinne zu

erzielen. Allerdings sollte die Möglichkeit nicht übersehen werden, dass eine derartige optimale Satzzahl, die für alle Individuen und für alle Trainingsübungen Gültigkeit besitzt, vielleicht nicht existiert. Fleck und Kraemer (2004) betonen dies ebenfalls:

The optimal number of sets and repetitions for DCER [Dynamic Constant External Resistance Training¹⁶] exercises to achieve maximum gains in strength, power, and body compositional changes has received a great deal of attention from personal trainers, strength coaches, and sport scientists. The search for an optimal number of sets and repetitions assumes several factors: that an optimal number of sets and repetitions actually exists; that once found it will work for all individuals and exercises or muscle groups; that it will work equally well in untrained and trained individuals; and that it will promote maximal increases in strength, power, and body compositional changes for an indefinite period of time. These assumptions may not be correct.

(S. 21)

Die optimale Satzzahl für eine entsprechende Zielstellung wird von Berger (1982, S. 31) mit 3 Sätzen angegeben. Allerdings bezieht er sich dabei auf Ergebnisse, die sich allein auf die Übung Bankdrücken stützen.

3.4.2 Einsatz-Training bzw. Low Volume Training (LVT)

Ein großes Problem der Beurteilung der Effektivität des Einsatz-Trainings ist die fehlende globale Definition dieser Trainingsmethode. Heiduk et al. (2002) übernehmen nicht die klassischen Begriffe des Einsatz-Trainings und des Mehrsatz-Trainings. Sie präsentieren eine alternative Struktur.

Definition A

Das Einsatz-Training wird als eine reine Ausprägung der Umfangsgestaltung im Krafttraining verstanden. Es sind keine weiteren Ausprägungen der anderen Belastungsnormative nötig, um ein Einsatz-Training zu konstitu-

¹⁶ Die Autoren verwenden den Begriff "Dynamic Constant External Resistance Training" anstatt des Begriffes "isotonics".

ieren. Fleck und Kraemer (2004, S. 188) geben in ihrem Buch eine entsprechende Definition an: "The single-set system, the performance of each exercise for one set, is one of the oldest resistance training programs."

Definition B

Eine weitere Definition wird von Schlumberger und Schmidtbleicher (1999, S. 9) gegeben: "Einsatz-Training bedeutet, dass pro Muskelgruppe bei einer bestimmten Übung ein Satz mit 8-12 WDH bis zur Muskelerschöpfung ausgeführt wird." Die Autoren behaupten ebenfalls, dass mehrere Übungen für eine Muskelgruppe, zumindest was die Muskelbeanspruchung beträfe, nicht mehr ein Einsatz-Training darstellen würde.

Diese Angaben beinhalten eine konkrete Vorgabe des Belastungsumfangs. Besonders interessant ist hierbei die Festlegung auf 8-12 WDH (WDH). Die Beschränkung auf den Bereich von 8-12 WDH erlaubt weder ein Training der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit der Muskulatur noch ein Training der Kraftausdauer, da für diese Effekte andere Wiederholungszahlen notwendig sind¹⁷.

Definition C

Heiduk et al. (2002) geben eine weitere Definition auf Basis der Arbeiten von Gießing (2000), Johnston (2000), Leistner (2000), Phillip (1999a; 1999b) und Weingarten (2000) an. Sie bezeichnen dieses Training allerdings nicht mehr als Einsatz-Training, sondern verwenden hierzu den Begriff des **High Intensity Trainings (HIT)**: "Das High Intensity Training (HIT) beinhaltet 1 Satz bis 2 Sätze pro Übung bis zur objektiven Ausbelastung unter Zuhilfenahme von Ausbelastungsstrategien, wobei auch mehrere Übungen pro Muskelgruppe eingesetzt werden können (vgl. Weingarten 2000, 321)" (Heiduk et al., 2002, S. 6). Die Autoren beziehen sich hier auf Ausbelastungsstrategien wie sie beispielsweise von *Weingarten* als "intensity extending techniques" (Weingarten, 2000) beschrieben werden:

Forced repetitions — in which a partner helps you barely complete one or two extra repetitions

¹⁷ Vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999.

Negative repetitions — in which a partner lifts the weight and you resist the negative (downward) motion. These should be continued only until you cannot control the descent of the weight.

Rest pause — where after reaching positive fatigue, you rest for about 15-30 seconds and then attempt to squeeze out 1-3 extra repetitions.

Drop set — where after reaching positive fatigue, the weight is immediately reduced by about 20-25 percent and you perform as many repetitions as possible.

(S. 324-325)

Allerdings muss auch hier darauf hingewiesen werden, dass die Definitionen des High Intensity Trainings nicht eindeutig sind. Johnston (2000, S. 127) definiert ein High Intensity Training als "...extreme effort while incorporating only one work set per exercise with minimum work sets per body part per workout (what exactly "minimum" means remains subjective among trainees)...". Diese Definition würde also weitere Ausbelastungssätze bei einem High Intensity Training verbieten.

Es existieren noch weitere Ausbelastungsstrategien, die auch im HIT-Training verwendet werden können. Boeckh-Behrens und Buskies (2001, S. 56-60) und Fleck & Kraemer (2004, S. 187-207) gehen in ihren Arbeiten ausführlich auf derartige Strategien ein. Heiduk et al. (2002) entwickeln basierend auf den Definitionen B und C, eine Unterteilung der Trainingsmethoden Einsatz-Training und Mehrsatz-Training, wie sie folgender Abbildung zu entnehmen ist.

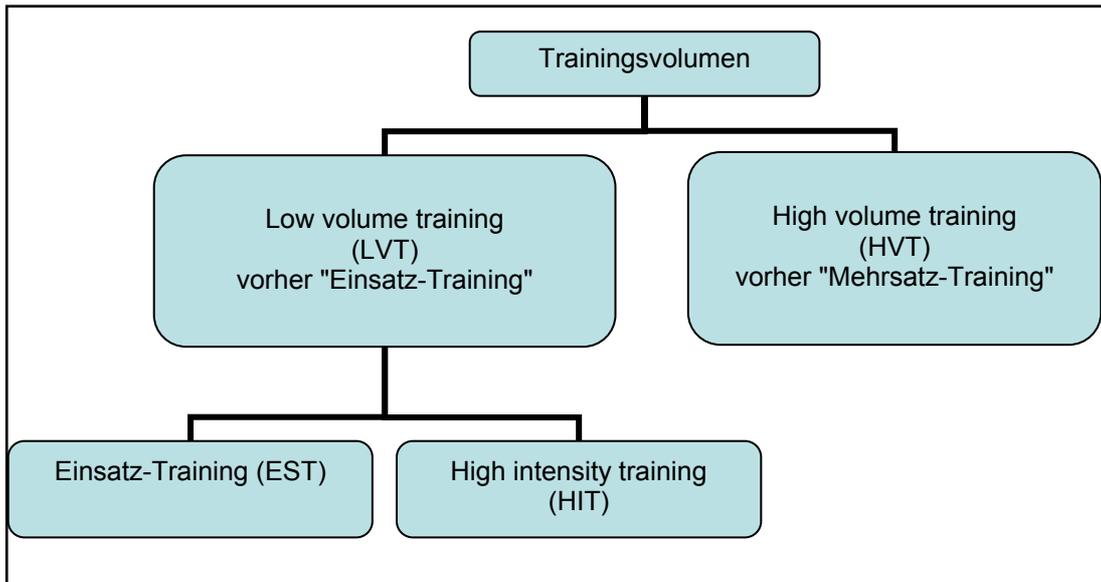


Abbildung 5: Unterteilung der Trainingsformen an Hand der Trainingsvolumina (nach Heiduk et al., 2002, S. 5)

Es verwundert hingegen, dass Heiduk et al. (2002) die **Definition A** in diesem Schema nicht berücksichtigen. Fleck und Kraemer (2004, S. 188-189) als auch Carpinelli und Otto (1998, S. 73-73) beschreiben die Methode des Einsatz-Trainings nur als Variation der Satzzahl ohne damit zwangsläufig Ausbelastungsstrategien oder eine bestimmte Wiederholungszahl zu verbinden.

Auch die Empfehlung des American College of Sports Medicine (1998) schreibt nicht ausdrücklich eine Ausbelastung vor, sondern gestattet einen Abbruch des Satzes vor dem Wiederholungsmaximum (RM) als weitere Möglichkeit: "A minimum of 1 set of 8-12 RM or to near fatigue should be completed by most participants; however for older and more frail persons (approximately 50-60yr of age and above), 10-15 repetitions may be more appropriate" (S. 983).

Die Methode des Einsatz-Trainings wird auch hier nicht an eine Wiederholungszahl von 8-12 WDH gekoppelt, sondern es wird für die Zielgruppe der älteren Menschen ausdrücklich eine höhere Wiederholungszahl (10-15 WDH) empfohlen. Eine vollständige Beschreibung aller Formen des Einsatz-Trainings wäre durch eine Modifikation des Schemas von Heiduk et al. (2002, S. 5) möglich:

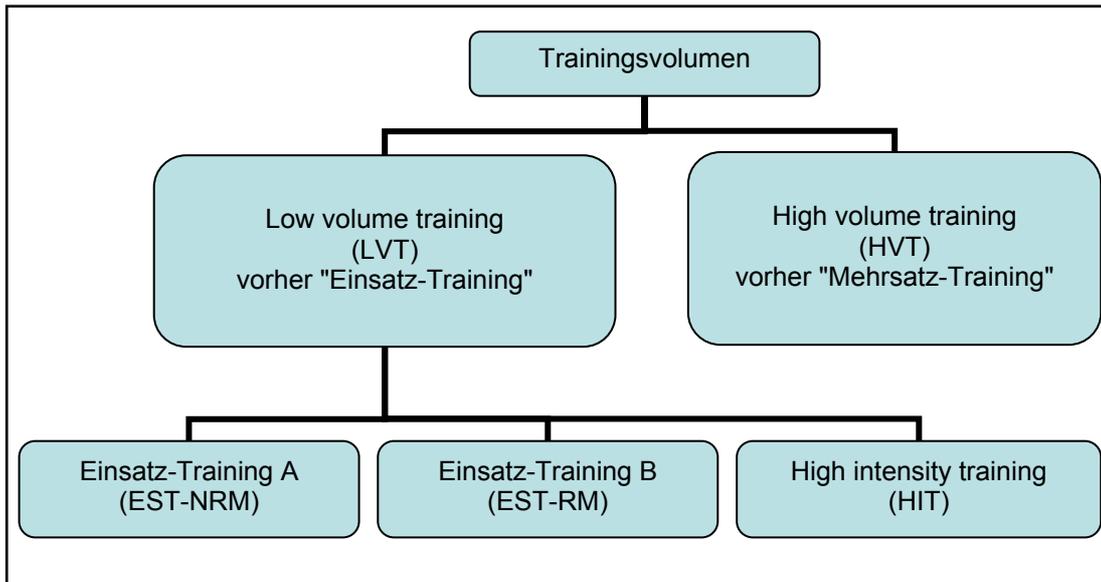


Abbildung 6: Modifizierte Unterteilung der Trainingsformen an Hand der Trainingsvolumina

Das Einsatz-Training wird in diesem Schema (vgl. Abbildung 6) in zwei Unterformen geteilt: Das Einsatz-Training A (EST-NRM) und das Einsatz-Training B (EST-RM). Die Abkürzung (EST-NRM) steht für Einsatz-Training-No Repetition Maximum, also ein Einsatz-Training, dass nicht bis zum Wiederholungsmaximum ausgeführt wird. Die Wiederholungszahl ist bei dieser Variante des Low Volume Trainings nicht festgelegt.

Die Abkürzung (EST-RM) bedeutet Einsatz-Training-Repetition Maximum, also ein Einsatz-Training, das bis zum Wiederholungsmaximum und somit bis zur Muskelerschöpfung durchgeführt wird. Die Addition dieser zusätzlichen Variante des Einsatz-Trainings erscheint relevant, da in der Rehabilitation bzw. bei älteren Trainierenden eine Ausbelastung der Muskulatur mit 8-12 WDH möglicherweise nicht zu erreichen ist. Die Patienten sind wahrscheinlich nicht in der Lage, mit einer derart hohen Belastungsintensität zu trainieren, die eine Ausbelastung in dem entsprechenden Wiederholungsbereich zulässt. Eine Beschränkung des Einsatz-Trainings auf die Unterformen EST-RM und HIT würde bedeuten, dass ein Low Volume Training bei den genannten Populationen, nicht durchzuführen wäre.

3.5 Struktur des Trainings

Die Problematik der Bestimmung der optimalen Belastungsnormative für ein bestimmtes Trainingsziel, wurde in den vorangegangenen Kapiteln er-

läutert. Eine Trainingsplanung, die sich über einen größeren Zeitraum erstreckt, muss allerdings auch längerfristige Effekte berücksichtigen. Eine Möglichkeit einer derartigen Trainingssteuerung nennt sich Periodisierung (Englisch: periodization). Fleck und Kraemer (2004) definieren den Begriff "periodization" wie folgt: "Periodization of training refers to planned changes in the acute training program variables of exercise order, exercise choice, number of sets, number of repetitions per set, rest periods between sets and exercises, exercise intensity, and number of training sessions per day in an attempt to bring about continued and optimal fitness gains" (S. 210).

3.5.1 Keine Periodisierung

Das traditionelle Modell ohne Periodisierung¹⁸ basiert auf einem konstanten Trainingsvolumen und einer konstanten Trainingsintensität. Berger (1962) kommt zu dem Schluss: "The result of the present study indicate that the maximum rate of strength development resulted with six repetitions maximum (6 RM) for three sets" (S. 179). Atha (1981, S. 14) kommt nach einer ausführlichen Literaturrecherche zu einem ähnlichen Ergebnis. Er legt sich allerdings nicht auf die Zahl von sechs WDH fest, sondern sieht die funktionelle Beziehung zwischen optimaler Wiederholungszahl und Kraftzuwachs als Kurve, die ihren Höhepunkt ungefähr bei einer Wiederholungszahl von 5-6 WDH erreicht. Hierdurch soll eine Kraftverbesserung sowohl durch neurale Mechanismen als auch durch Hypertrophieeffekte erzielt werden. Die Intensität wird durch progressives Erhöhen des Trainingsgewichtes gesteigert.

Allerdings scheint ein derartiges Programm nicht so effektiv zu sein wie ein periodisiertes Trainingsprogramm (Rhea, Ball, Phillips, & Burkett, 2002; Willoughby, 1993). Ehlenz, Grosser und Zimmermann (1998) schreiben hierzu: "Durch Beobachtungen aus der Trainingspraxis ist bekannt, dass nach einer gewissen Zeitdauer prinzipiell gleich bleibender Belastungsgestaltung eine Art Deckeneffekt erreicht wird. Das bedeutet, dass trotz hohen

¹⁸ Baker (1994) behauptet, dass die Autoren Berger (1962) und O'Shea (1966) ein Krafttraining ohne Periodisierung befürworteten. Allerdings wird sowohl in den Untersuchungen von Berger (1962) als auch in der Untersuchung von O'Shea (1966) im Grunde genommen nur die Frage nach einer für einen größtmöglichen Kraftzuwachs optimalen Kombination verschiedener Belastungsnormative gesucht. Die Frage einer Plateaubildung wird in den Aufsätzen nicht gestellt (siehe Baker et al., 1994, S. 235).

Trainingsaufwand keine nennenswerte Leistungssteigerung zu erzielen ist" (S. 136).

3.5.2 Klassische Periodisierung

Die Notwendigkeit eines periodisierten Trainingsprogramms basiert auf Selyes (1974) "General Adaption Syndrome" (GAS). Selye (1974) differenziert die Phasen "alarm", "resistance" und "exhaustion". In der dritten Phase, der "exhaustion", kann es zu dem schon erwähnten Deckeneffekt bzw. sogar zu einem Absinken der Leistungsfähigkeit durch Übertraining kommen.¹⁹

Die klassische Periodisierung basiert auf der Arbeit von Matwejew (1966, 1981). Diese Form der Periodisierung teilt ein Jahr in verschiedene Zeitperioden ein. Die längste Periode ist der Makrozyklus. Dieser umfasst ein Jahr²⁰ und wird in drei bis vier Mesozyklen aufgeteilt, die jeweils 3-4 Monate dauern. Die Mesozyklen werden in Mikrozyklen aufgeteilt, die zwischen einer und 4 Wochen dauern. Die Periodisierung bezieht sich im Normalfall nur auf die Übungen der großen Muskelgruppen und nicht auf kleinere Muskeln wie zum Beispiel Bizeps oder Trizeps. Ursprünglich bezog sich dieses Modell nur auf das Training von Gewichthebern, die einen Wettkampfhöhepunkt pro Jahr anstrebten²¹.

Die Amerikaner Stone, O'Bryant und Garhammer (1981) entwickelten, basierend auf den Erkenntnissen von Matwejew (1981), ein Modell für ein Kraft- und Schnellkrafttraining, welches sich nicht nur auf die Sportart Gewichtheben bezieht. Dieses Modell wird von Stone und O'Bryant (1987) in ihrem Buch "Weight Training: A Scientific Approach" ausführlich dargestellt. Sie erweitern das Konzept von Matwejew (1981) und präsentieren folgendes Modell:

¹⁹ Vergleiche hierzu auch: Rhea et al. (2002, S. 250).

²⁰ Der Makrozyklus kann sich auch auf ein halbes Jahr oder auch auf ein 4-Jahres-Zyklus beziehen. Vergleiche hierzu Ehlenz et al. (1998, S. 134) bzw. Wathen, Baechle & Earle (2000, S. 515).

²¹ Vergleiche hierzu auch Fleck & Kraemer (2004, S. 210).

Tabelle 5: Theoretisches Modell der Periodisierung von Krafttraining (nach Stone & O'Bryant, 1987, S. 123)

Phase	Vorbereitung		Übergang	Wettkampf	Übergang 2
	Hypertrophie	Grundlagen Kraft	Kraft und Schnellkraft	Höchstleistung oder Erhaltung*	Aktive Erholung
Sätze**	3-10	3-5	3-5	1-3	Beispielsweise andere "Freizeit-sportarten"
Wiederholungen	8-12	4-6	2-3	1-3	
Tage/Woche	3-4	3-5	3-5	1-5	
Zeiten/Tag	1-3	1-3	1-2	1	
Intensitäts-Zyklus***	2-3/1	2-4/1	2-3/1	-	
Intensität	gering	hoch	hoch	sehr hoch bis gering	
Volumen	hoch	mittel bis hoch	gering	sehr gering	

* Höchstleistung für Sportarten, die einen definierten Saisonhöhepunkt haben, Erhaltung für Sportarten, die eine lange Saison haben wie zum Beispiel Basketball oder andere Sportspiele.

** Die Zahlen beziehen keine Aufwärmätze mit ein.

*** Das Verhältnis von schweren Trainingswochen zu leichten Trainingswochen.

Es fällt auf, dass ein großer Spielraum bei den einzelnen Werten besteht. Zum Beispiel wird in der Höchstleistungs- bzw. Erhaltungsphase ein ein- bis fünfmaliges Training pro Woche empfohlen. Allerdings muss diese Empfehlung auch einen derart breiten Spielraum gewähren, da sonst sowohl eine Anpassung an die unterschiedlichen Sportarten als auch an die interindividuellen Unterschiede bezüglich der Toleranz gegenüber Trainingsreizen der Sportler nicht gewährleistet wäre.

In der schon erwähnten Umfrage von Ebben und Blackard (2001) beantworteten 25 von 26 Trainern der Amerikanischen Football Liga NFL die Frage bezüglich einer Periodisierung ihres Krafttrainings folgendermaßen²²:

18 der 25 Trainer gaben an, dass Sie eine Periodisierung des Krafttrainings verwenden, die dem Modell von Stone und O'Bryant (1987) entspricht. Sie wenden das ganze Jahr über Periodisierungsmodelle an. In der spielfreien Zeit reduzieren Sie das Trainingsvolumen und erhöhen die Intensität pro Übung. Ihr Lauftraining gestalten Sie ebenfalls nach diesem Prinzip²³.

²² Ein Trainer beantwortete die Frage nicht.

²³ Siehe hierzu Ebben & Blackard (2001, S. 54).

Die sieben Trainer, die keine Periodisierung verwenden, gaben folgende Erklärung bezüglich ihrer Trainingsgestaltung: "Not really [bezogen auf die Frage, ob Sie eine Periodisierung anwenden], start conservative gradually increase intensity allow adequate recovery. Weight training in football is different than any other sport. When you have them healthy, train them" (Ebben & Blackard, 2001, S. 54)

Obwohl die Trainer angeben, dass sie keine Periodisierung verwenden, ist das Grundelement, wie es auch von Matwejew (1981) und Stone und O'Bryant (1987) beschrieben wird, anscheinend vorhanden: Sie starten konservativ und erhöhen langsam die Intensität.

3.5.3 Nonlineare Periodisierung

Als Alternative zu dem klassischen linearen²⁴ Periodisierungsmodell existiert das nonlineare Periodisierungsmodell²⁵. Dieses Modell wurde erstmal von Poliquin (1988) empfohlen. Die Bezeichnung nonlinear bezieht sich auf die Veränderungen der Belastungsintensität und der Wiederholungszahl innerhalb eines Mikrozyklus bzw. innerhalb einer Woche. Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel für eine nonlineare Periodisierung:

Tabelle 6: Beispiel für verschiedene Belastungsnormative für ein einwöchiges Krafttraining nach einem nonlinearem Periodisierungsmodell (nach Fleck & Kraemer, 1997, S. 105)²⁶

	Montag	Mittwoch	Freitag
Intensität*	8-10 RM	3-5 RM	12-15 RM
Satzzahl	3-4	4-5	3-4
Pausenlänge zwischen Übungen und Sätzen	2 Minuten	3-4 Minuten	1 Minute

Die Variation der genannten Belastungsnormative führt zu unterschiedlichen Trainingseffekten. Der Intensitätsbereich von 8-10 RM bei einer relativ kurzen Pausenlänge von 2 Minuten stellt einen Trainingsreiz dar, der zu einer starken Muskelhypertrophie führt. Es verwundert allerdings, dass Fleck und Kraemer (1997) die Pausenlänge mit 2 Minuten angeben, da sie

²⁴ Die Bezeichnung "linear" bezieht sich auf die graduelle Erhöhung der Intensität.

²⁵ Dieses Modell wird auch als "undulating periodization", also "wellenförmige Periodisierung" bezeichnet (vgl. Rhea et al., 2003).

²⁶ In der dritten Auflage des Buches von Fleck & Kraemer (2004) fehlt das dargestellte Beispiel.

vorher eine Pausendauer von 1,5 Minuten oder weniger empfehlen (Fleck & Kraemer, 1997, S. 101).

Das Training mit einer hohen Intensität von 3-5 WDH²⁷ und den anderen in der Tabelle 6 aufgeführten Belastungsnormativen führt zu einer Verbesserung der Maximalkraft. Hier stimmen die Empfehlungen für das nonlineare Periodisierungsmodell mit den grundlegenden Empfehlungen für das Erreichen spezifischer Trainingsziele²⁸, in diesem Fall das Erreichen von Steigerungen der Maximalkraft, überein.

Eine Wiederholungszahl von 12-15 WDH und den dargestellten Werten für Satzzahl und Pausenlängen, wie es am dritten Tag dieses exemplarischen Trainingsplans zu sehen ist, führt zu einer optimalen Verbesserung der lokalen Krafterhaltung. Auch diese Werte stimmen wieder mit den allgemeinen Empfehlungen für die Erreichung grundlegender Ziele, wie sie von Fleck und Kraemer (2004, S. 174) aufgeführt werden, überein.²⁹

Eine mögliche Begründung für die Überlegenheit der nonlinearen Periodisierung sieht Baker et al. (1994) in dem Ausbleiben einer "neuralen Erschöpfung": "It is believed that prolonged linear intensification leads to 'neural fatigue' (22) which could compromise strength gain. Thus, by combining high intensity training with intermittent periods of high volume/lower intensity training, optimal strength gains may result" (S. 236).

3.5.4 Vergleich der verschiedenen Periodisierungsmodelle

Zurzeit kann die Frage, welches Periodisierungsmodell am effektivsten ist, nicht eindeutig beantwortet werden. Der "Deckeneffekt", wie er von Ehlenz et al. (1998, S. 136) und in den schon erwähnten Veröffentlichungen erwähnt wird, ist zum Beispiel bei Morganti et al. (1995) nur in einer Abschwächung des Kraftgewinnes zu erkennen. Diese Untersuchung wurde über einen Zeitraum von 1 Jahr durchgeführt. Dieser Zeitraum ist deutlich

²⁷ Es wird hier und in den folgenden Beispielen jeweils von einer Ausbelastung in dem entsprechendem Bereich ausgegangen.

²⁸ Fleck & Kraemer, 1997, S. 101.

²⁹ Allerdings sollte auch an dieser Stelle auf die teilweise drastischen Unterschiede bei den Empfehlungen der einzelnen Autoren hingewiesen werden. Güllich & Schmidtbleicher (1999, S. 232) geben beispielsweise eine Wiederholungszahl von 20-40 bei 6-8 Sätzen pro Muskelgruppe an.

länger als für empirische Trainingsexperimente üblich³⁰. Zwischen 40% und 50% der Kraftgewinne fanden in den ersten 3 Monaten der Studie statt, die restlichen 50%-60% der Kraftzuwächse erfolgten in den Monaten 4-12. Es sind also, auch ohne eine Periodisierung, durchaus noch beträchtliche Kraftsteigerungen nach den ersten 3 Monaten möglich. Allerdings ist bei Betrachtung dieser Ergebnisse zu berücksichtigen, dass die Untersuchung an Probandinnen durchgeführt wurde, die keine Krafttrainingserfahrung³¹ besaßen.

Baker et al. (1994) äußern bei der Betrachtung der Literatur zur Periodisierung ebenfalls Zweifel an der Überlegenheit eines periodisierten Krafttrainings (unabhängig ob linear, oder nicht linear) über ein Krafttraining ohne Periodisierung: "Thus, from previous research it is not clear whether greater volume, intensity, or the structure of training produces the more favorable results that linear periodized training produced compared to nonperiodized training" (S. 236).

Die Gefahr bei einem Krafttraining ohne Periodisierung, bei dem die Belastungsintensität fortwährend gesteigert wird, besteht in einem Übertraining (Wathen et al., 2000, S. 514). Ein Übertraining bedeutet eine Trainingsbelastung über der Funktionskapazität des trainierenden Sportlers. Die Funktionskapazität des Sportlers wird hierdurch reduziert³². Willoughby beschreibt ein Übertraining als "any biochemical, physiological or psychological factor that leads to a decrement in performance, or fails to improve it, even through [wahrscheinlich meint der Autor hier *even though*] an adequate training stimulus is being provided (7)" (Dudley & Fleck, 1987 zitiert nach Willoughby, 1993, S. 2).

Jedes Training besteht aus einer "Überlastung"³³ des Organismus. Es wird ein Reiz gesetzt (zum Beispiel durch ein Krafttraining), welcher zu einer Anpassungsreaktion des Körpers führt. Im Falle eines Krafttrainings, welches in einem nach Atha (1981) und Berger (1962) optimalen Bereich der Belas-

³⁰ Der "normale" Zeitraum beträgt meistens ca. 12 Wochen (z. Bsp. Rhea et al., 2002).

³¹ Die Probandinnen verfügten somit, sehr wahrscheinlich, zu Beginn des Trainings über eine große Adaptationsreserve im Bereich der konditionellen Fähigkeit Kraft (vergleiche hierzu auch Hohmann et al., 2002, S. 154).

³² Siehe hierzu auch Hohmann et al., 2002, S. 154-155.

³³ Englisch: "overload".

tungsintensität und Belastungsumfangs liegt, den schon erwähnten sechs WDH bei einer Satzzahl von 3 Sätzen, würde keine Variation des auf das neuromuskuläre Systems einwirkenden Reizes erfolgen. Auch wenn in der Untersuchung von Morganti et al. (1995) Leistungssteigerungen über den Zeitraum von 1 Jahr beobachtet werden, weisen die Mehrzahl der Studien auf die Überlegenheit eines periodisierten Krafttrainings hin (vgl. Fleck & Kraemer, 2004, S. 220-224).

3.6 Effekte des Krafttrainings

Krafttraining führt zu einer Anzahl von Anpassungsreaktionen auf neuromuskulärer, kardiovaskulärer und endokriner Ebene (de Marées, 2002; Kraemer et al., 2003; McDonagh & Davies, 1984; Pette, 1999; Sale, 1988; Staron et al., 1994; Steinacker, Wang, Lormes, Reißnecker, & Liu, 2002; Tidow, 1995).

3.6.1 Messmethoden der muskulären Anpassungen

Eine der wichtigsten Anpassungen des menschlichen Körpers auf einen adäquaten Krafttrainingsreiz ist die Veränderung der trainierten Muskulatur. Die Muskelhypertrophie ist hierbei die wichtigste Adaptation. Die Quantifizierung der Muskelzuwächse ist gegenwärtig mittels unterschiedlicher Verfahren möglich (vgl. Abe, DeHoyos, Pollock, & Garzarella, 2000; McDonagh & Davies, 1984; Tidow, 1995; Walker et al., 1998).

Umfangsmessungen

Eine der einfachsten Methoden der Überprüfung von Muskelzuwächsen ist die Umfangsmessung. Zur Erhebung von muskulären Veränderungen werden beispielsweise Umfangsmessungen an definierten Stellen des Körpers durchgeführt. Die Umfangsmessungen sollten mit einem flexiblen nicht-dehnbaren Messband durchgeführt werden (vgl. Pollock, Garzarella, & Graves, 1995, S. 180). In der Literatur werden unterschiedliche Verfahren zur Umfangsmessung vorgestellt. Beispielsweise geben Pollock & Willmore (1990, zitiert nach Pollock et al., 1995, S. 182) an, dass die Messung des Oberarmumfangs bei maximal kontrahiertem M. biceps brachii und gebeugtem Oberarm erfolgen solle. Es wird die Stelle des größten Umfangs ver-

messen. Lohmann, Roche & Martorell (1988, zitiert nach Pollock et al., 1995, S. 182) empfehlen die Messung des Oberarmumfangs bei vollständig entspannter Oberarmmuskulatur (stehend) 50% der Distanz zwischen Acromion und Ellenbogen.

Sipilä und Suominen (1993, S. 299) weisen darauf hin, dass die Messung des Oberschenkelumfangs keine geeignete Methode ist, den Querschnitt eines bestimmten Muskels bzw. einer bestimmten Muskelgruppe zu erfassen. Sie belegen dieses sehr deutlich, indem sie Bilder von CT Aufnahmen des Oberschenkelquerschnitts einer hochtrainierten 69-jährigen Läuferin (Aufnahme a und b) mit den Aufnahmen einer 71-jährigen Probandin ihrer Kontrollgruppe (Aufnahme c und d) vergleichen (Abbildung 10).

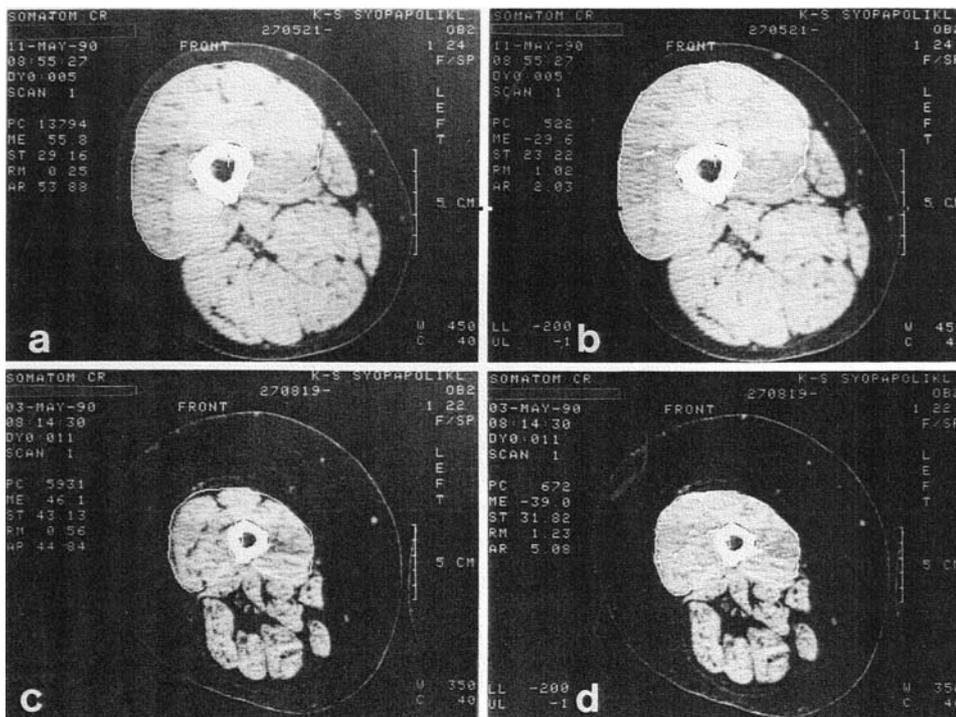


Abbildung 7: CT Aufnahme eines Muskelquerschnitts des mittleren Oberschenkels. In b und d wird der Querschnitt des Fettgewebes des M. quadrizeps femoris bestimmt (aus Sipilä & Suominen, S. 298)

Auch die Berechnung von Muskelumfängen, bei denen das Unterhautfettgewebe über Hautfaltendickenmessungen bestimmt und von dem gemessenen Gesamtumfang des Muskels abgezogen wird, ist keine reliable Methode zur direkten Bestimmung von Muskelquerschnitten (vgl. Weiss, Coney, & Clark, 2000).

Zusammenfassend können Umfangsmessungen nicht als valide Methode zur Bestimmung von Muskelzuwächsen eingesetzt werden, da die Muskulatur von anderen Geweben nicht differenzierbar ist (DeKoning, Binkhorst, Kauer, & Thissen, 1986; Freiwald & Stahl, 1991; Jelliffe & Jelliffe, 1969).

Computertomographie und Magnetresonanztomographie

Zur genaueren Erfassung der Veränderungen des Muskelquerschnitts haben sich Computertomographie und Magnetresonanztomographie bewährt (vgl. Bembien, 2002; Hurley et al., 1995).

Cureton, Collins, Hill und McElhannon (1988) untersuchten an 22 Probanden, welche Hypertrophieeffekte ein 16-wöchiges Krafttraining auf den Muskelquerschnitt des Oberarms und des Oberschenkels bei Frauen und Männern hervorruft. Die Autoren unterschieden nicht die Querschnitte einzelner Muskeln wie zum Beispiel M. rectus femoris, sondern bezogen sich bei den Querschnittsmessungen auf die Begriffe "upper arm" and "thigh". 12 Probanden wurden innerhalb von 5 Minuten zwei Mal gescannt, um die Reliabilität der Computertomographie zur Bestimmung des Muskelquerschnitts von Arm und Oberschenkel zu überprüfen. Der Korrelations-Koeffizient betrug $r=0,99$ (Cureton et al., 1988, S. 340).

McCall, Byrnes, Dickinson, Pattany und Fleck (1996) führten eine Untersuchung zur Muskelhypertrophie, Muskelhyperplasie und Kapillardichte nach einem 12-wöchigen Krafttraining durch. Im Rahmen dieser Untersuchung testeten sie die Validität und Reliabilität der Magnetresonanztomographie zur Bestimmung des Muskelquerschnitts der kombinierten Muskelquerschnittsfläche des M. biceps brachii und M. brachialis. Sie führten an neun Probanden zwei Tests innerhalb einer Testsitzung durch und erhielten einen Korrelations-Koeffizienten von $r=0,99$. (McCall et al., 1996, S. 2006).

Die hohen Korrelations-Koeffizienten dieser zwei exemplarischen Untersuchungen belegen, dass sowohl die Computertomographie als auch die Magnetresonanztomographie reliable Methoden zur Bestimmung von Muskelquerschnitten sind. Allerdings sprechen Strahlenexposition (CT) und die hohen Kosten (CT und MRT) gegen diese Methoden (Hides, Richardson, & Jull, 1995).

Ultraschall

Die Ultraschalldiagnostik eröffnet die Möglichkeit, Muskeldickenmessung bzw. Muskelquerschnittsmessung kostengünstig und ohne Strahlenexposition durchführen zu können. In der internationalen Literatur ist die Möglichkeit, Ultraschall zur reliablen und validen Diagnostik von Muskeldicken (Dupont et al., 2001; Ishida, Carroll, Pollock, Graves, & Leggett, 1992; Kawakami, Abe, & Fukunaga, 1993; Weiss, 1984) bzw. Muskelquerschnitten (Bemben, 2002; Hides et al., 1995; Ikai & Fukunaga, 1968) zu verwenden, mehrfach belegt. In der nationalen Literatur liegt nur eine Untersuchung von Fröhner & Börner (1994) vor, die die Eignung der Ultraschallmessung zur Muskeldickenmessung des M. quadrizeps femoris dokumentiert.

Voruntersuchung: Reliabilität von Ultraschallmessungen zur Bestimmung von Muskeldicke des M. quadrizeps femoris und des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris

Die folgende Studie wurde im Rahmen der Auflagen für das Bisp-Projekt: "Zum Einfluss verschiedener Krafttrainingsmethoden auf Maximalkraft und Krafftausdauer sowie auf die Muskeldicke des M. quadrizeps femoris" durchgeführt. Untersuchungsgegenstand war die Reliabilität von Ultraschallmessungen zur Bestimmung der Muskeldicke des M. quadrizeps femoris und zur Bestimmung des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris. Die Muskeldicke des M. quadrizeps femoris ist hierbei definiert als die Distanz in Millimetern zwischen superfizielltem Muskel – Bindegewebeübergang des M. rectus femoris und der knöchernen Kontur des Femurs. Der Muskelquerschnitt des M. rectus femoris ist hierbei definiert als die Fläche in cm², die durch den sichtbaren Muskel-Bindegewebeübergang konstituiert wird. Der Messpunkt liegt jeweils 15 cm über dem proximalen Rand der Patella.

Methoden

Die orthopädische Rehabilitationsklinik Lindenplatz³⁴ in Bad Sassendorf stellte sowohl die Räumlichkeiten als auch das Ultraschallgerät für unsere Studie zur Verfügung.

³⁴ Klinik Lindenplatz, 59505 Bad Sassendorf, Weslerner Str. 29.

Probanden

Insgesamt 10 Probanden³⁵ nahmen an der Studie teil. Sie rekrutierten sich aus dem Klinikpersonal der Klinik Lindenplatz sowie aus Studentinnen und Studenten der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

Tabelle 7: Anthropometrische Daten

Proband	Alter	Geschlecht	Größe (cm)	Gewicht (kg)
P1	36	m	183	92
P2	28	m	172	65
P3	43	w	179	71
P4	37	w	170	67
P5	43	m	182	86
P6	35	m	178	100
P7	26	w	173	58
P8	22	w	169	55
P9	26	m	183	75
P10	27	m	183	81
\bar{x} (s)	32,30 (\pm 7,48)		177,20 (\pm 5,69)	75,00 (\pm 14,68)

Geräte

Es wurde ein volldigitales Ultraschallgerät Sonoline G50 der Firma Siemens benutzt. Dieses System ist mit mehreren MultiHertz[®] Breitband-Schallköpfen ausgestattet. Für die Untersuchung wurde ein linearer Schallkopf mit einer Frequenz von 7,5 MHz gewählt. Diese Ultraschallfrequenz ermöglicht eine ausreichende Eindringtiefe in das Gewebe bei gutem räumlichen Auflösungsvermögen. Je geringer die Frequenz des Schallkopfes ist, desto größer ist die Eindringtiefe. Allerdings verringert sich mit sinkender Frequenz auch das räumliche Auflösungsvermögen.

Messdurchführung

Die Messungen wurden nach einem analogen Verfahren, wie es auch Bembien (2002, S. 105) in seiner Studie verwendete, durchgeführt. Allerdings

³⁵ Mit dem Begriff "Probanden" sind sowohl weibliche als auch männliche Probanden gemeint.

wurde eine zusätzliche Methode zur besseren Reproduzierbarkeit des Messpunktes benutzt³⁶.

Die Probanden lagen rücklings auf einer Untersuchungsliege. Der Proband wurde angewiesen, die vordere Oberschenkelmuskulatur des rechten Beines zu entspannen. Der proximale Rand der Patella wurde mit einem Stift markiert. Danach wurde mittels eines Maßbands ein Messpunkt 15 cm oberhalb der vorher ermittelten Markierung bestimmt. Dies war der Messpunkt. Eine Klarsichtfolie wurde über den rechten Oberschenkel gelegt und sowohl der Messpunkt als auch vorhandene Hautmerkmale (Muttermale etc.) auf der Folie markiert (vgl. Abbildung 8). Nach der Messung wurde die auf der Folie markierte Stelle des Messpunktes mit einer heißen Nadel durchstoßen. Bei dem Retest wurde die Klarsichtfolie wieder auf den rechten Oberschenkel aufgelegt und an Hand der Hautmerkmale etc. exakt positioniert. Anschließend wurde durch das Loch in der Folie der Messpunkt markiert.

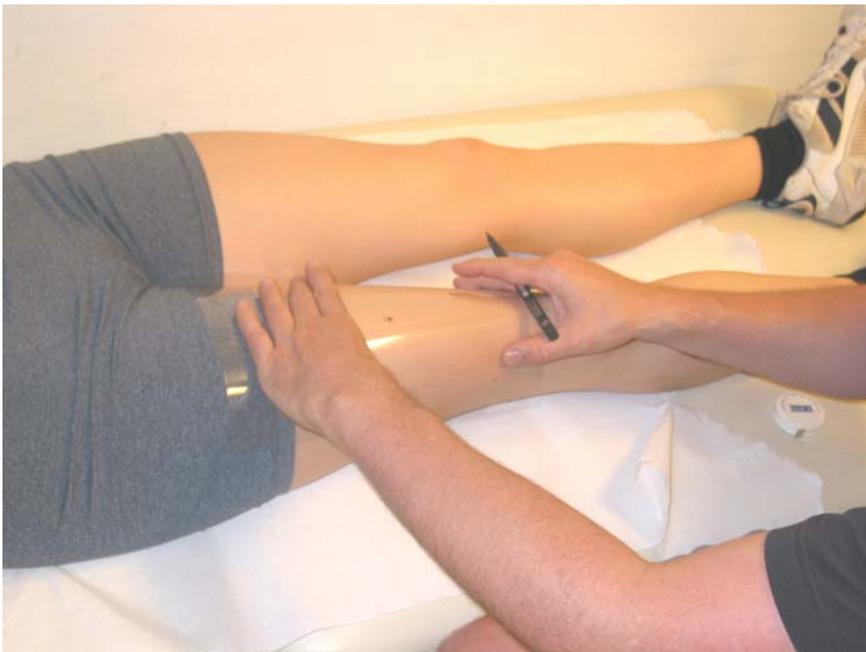


Abbildung 8: Auftragen der Messpunkte auf die Folie

Nach dem Auftragen von Ultraschallgel auf den Schallkopf wurde der Schallkopf rechtwinklig zur Oberfläche des Oberschenkels über den markierten Messpunkt gebracht (vgl. Abbildung 9). An Hand des Ultraschallbildes wurde eine mögliche Kompression des Oberschenkels kontrolliert.

³⁶ Vgl. Stokes & Young 1986.



Abbildung 9: Positionierung des Schallkopfes

Sobald auf dem Monitor des Ultraschallgerätes ein deutliches Bild des Querschnitts des M. rectus femoris zu erkennen war, wurde das Bild auf dem Monitor des Ultraschallgerätes "eingefroren". Das Bild wurde über die Speicherungsfunktion des Systems auf der integrierten Festplatte des Siemens G50 abgelegt. An jedem der beiden Messtage wurden vier Bilder pro Proband erfasst. Diese Bilder wurden später mit Hilfe der integrierten Messfunktion des Ultraschallgerätes vermessen bzw. auf einen handelsüblichen CD-Rohling gebrannt und auf einem Personal Computer mit dem Programm Scion Image for Windows® Version Beta 4.02 der Firma Scion Corporation ausgewertet. Dieses Programm ermöglicht das Vermessen von digitalen Bildern.

Zur Bestimmung der Muskeldicke wurde der Abstand zwischen superfizielltem Muskel-Bindegewebeübergang des M. rectus femoris und der knöchernen Kontur des Femurs gemessen. Somit wurde die kombinierte Dicke des M. rectus femoris und des M. vastus intermedius gemessen. Zur Bestimmung des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris wurde mit Hilfe des Trackballs des Gerätes die innere Grenze der Muskelfaszie umfahren (vgl. Abbildung 10 und Abbildung 11).

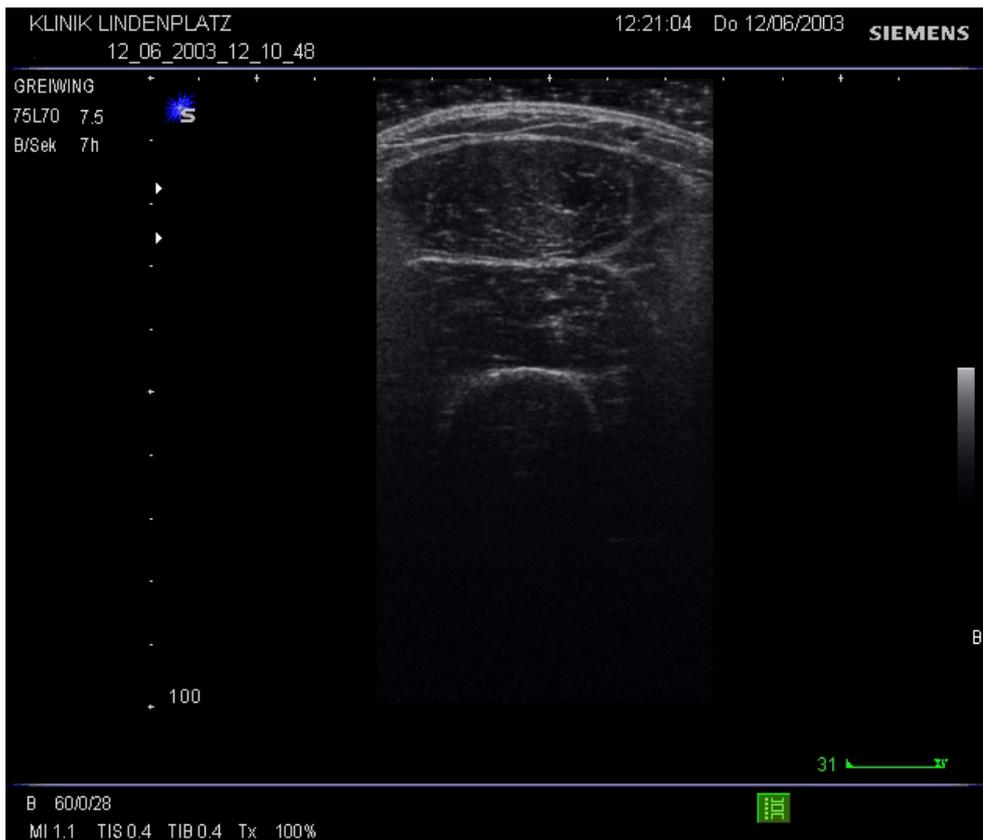


Abbildung 10: Ultraschallbild ohne Längen- und Querschnittsmessungen



Abbildung 11: Ultraschallbild mit Muskeldickenmessung (1=35,7 mm) und Muskelquerschnittsmessung (2=7,36 cm²)

Statistik

Die Statistik wurde mit den Programmen Microsoft Excel 2002 sowie SPSS für Windows Version 11.0 berechnet. Die vier Messungen pro Proband und Messzeitpunkt wurden sowohl für Muskeldicke als auch für Muskelquerschnitt gemittelt. Die Korrelation³⁷ der einzelnen sowie der gemittelten Werte für Muskeldicke und Muskelquerschnitt wurde zwischen den beiden Messungen berechnet. Zusätzlich wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC; vgl. S. 145) für den Zusammenhang der Mittelwerte sowie jeweils des ersten Messwertes (Pre1 bzw. Post1) an den Messtagen erhoben.

Ergebnisse

Die folgenden Tabellen 8 und 9 zeigen die Ergebnisse für die Muskeldicken- und Muskelquerschnittsmessungen:

Tabelle 8: Muskeldickenmessungen in mm

	Pre1	Pre2	Pre3	Pre4	̄	Post1	Post2	Post3	Post4	̄
1	36,0	35,7	36,0	35,5	35,8	36,2	36,0	36,0	35,7	35,8
2	35,7	36,0	35,7	35,2	35,7	36,0	36,2	36,2	35,7	36,0
3	26,4	27,8	27,6	26,1	27,0	24,4	24,6	24,4	24,1	24,4
4	38,9	38,7	38,2	37,8	38,4	37,2	37,7	38,0	37,0	37,5
5	40,6	39,5	40,3	40,4	40,2	40,2	41,4	41,6	41,6	41,2
6	41,3	40,6	39,9	40,1	40,5	40,9	41,6	40,7	40,9	41,0
7	35,5	35,5	35,7	35,7	35,6	35,5	36,1	35,2	35,8	35,7
8	28,5	28,4	28,0	28,0	28,2	27,4	27,8	28,3	28,3	28,0
9	37,2	36,0	36,0	35,7	36,2	36,7	36,9	38,0	38,2	37,5
10	41,6	41,1	41,4	41,1	41,3	40,9	40,9	40,4	41,1	40,8
	1. Messtag				35,9 (±4,9)	2. Messtag				35,8 (±5,6)

Die Überprüfung der Korrelation³⁸ der Muskeldickenwerte der Messwerte des ersten Messtages mit den Messwerten des zweiten Messtages ergibt höchst signifikante ($p < 0,001$) bis hoch signifikante ($p < 0,01$) Korrelationen zwischen $\tau = 0,750$ und $\tau = 0,989$. Die höchst signifikante Korrelation ($p < 0,001$) der Mittelwerte der Muskeldicke des ersten und des zweiten Messtages beträgt $\tau = 0,944$ ³⁹. Die Überprüfung des ICC ergibt sowohl für die

³⁷ Rangkorrelation nach Kendall.

³⁸ Rangkorrelation nach Kendall.

³⁹ Vgl. Anhang A.

Mittelwerte, als auch für jeweils den ersten Test eine höchst signifikante ($p < 0,001$) Korrelation von $r = 0,996$. bzw $r = 0,984$.

Tabelle 9: Muskelquerschnittsmessungen in cm^2

	Pre1	Pre2	Pre3	Pre4	8	Post1	Post2	Post3	Post4	8
1	8,48	8,00	7,83	7,80	8,03	8,63	8,18	8,50	7,75	8,27
2	7,36	7,55	7,50	7,03	7,36	7,11	7,49	7,53	7,1	7,31
3	3,21	3,09	2,97	3,41	3,17	3,30	3,24	3,19	2,89	3,16
4	4,98	4,58	4,83	4,75	4,79	5,08	5,06	5,01	4,94	5,02
5	9,21	8,51	9,64	9,51	9,22	8,77	9,33	9,37	9,22	9,17
6	4,14	5,15	4,62	5,31	4,81	4,63	4,68	4,76	4,83	4,73
7	4,62	4,35	4,80	4,40	4,54	4,21	4,48	4,17	4,29	4,29
8	4,32	3,50	3,77	4,07	3,92	3,85	3,71	4,37	4,27	4,05
9	7,41	7,09	7,30	6,61	7,10	6,87	7,1	7,52	7,76	7,31
10	6,32	6,17	6,15	5,97	6,15	6,08	6,48	6,49	6,64	6,42
	1. Messtag				5,91 ($\pm 1,97$)	2. Messtag				5,97 ($\pm 2,01$)

Die Überprüfung der Korrelation⁴⁰ der Muskelquerschnittswerte der Messwerte des ersten Messtages mit den Messwerten des zweiten Messtages ergibt höchst signifikante ($p < 0,001$) bis hoch signifikante ($p < 0,01$) Korrelationen zwischen $\tau = 0,822$ und $\tau = 0,989$. Die höchst signifikante Korrelation ($p < 0,001$) der Mittelwerte der Muskeldicke des ersten und des zweiten Messtages beträgt ebenfalls wie die Korrelation der Mittelwerte der Muskeldicke $\tau = 0,944$ ⁴¹. Die Überprüfung mit dem ICC ergibt für den Prä-Post-Vergleich der Mittelwerte Muskelquerschnitts eine höchst signifikante ($p < 0,001$) Korrelation von $r = 0,996$. Der ICC des Testes Pre1 und Post1 für den Muskelquerschnitt beträgt analog zur Muskeldicke $r = 0,984$ ($p < 0,001$).

Alternatives Auswerteverfahren

Neben den Messungen mit der in dem Siemens Ultraschall Gerät integrierten elektronischen Messeinrichtung wurde alternativ mit einer weiteren Auswertemethodik der Ultraschallbilder experimentiert. Hierzu wurden alle Ultraschallaufnahmen von der Ultraschallstation auf einen handelsüblichen CD-Rohling übertragen und mit Hilfe einer speziellen Software auf einem Personal Computer ein weiteres Mal ausgewertet. Die Vermessung der Auf-

⁴⁰ Rangkorrelation nach Kendall.

⁴¹ Vgl. Anhang A.

nahmen wurde mit dem Programm Scion Image for Windows® Version Beta 4.02 der Firma Scion Corporation⁴² durchgeführt. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Möglichkeit, das Bild beliebig zu skalieren und, wenn nötig, Kontrast und Helligkeit auch im Nachhinein noch verändern zu können. Eine Kalibrierung erfolgte durch die Software, indem eine bekannte Strecke auf dem Bild (die 10-mm-Intervalle auf den Ultraschallaufnahmen) vermessen wurde. Nach der Kalibrierung wurde die Muskeldicke und der Muskelquerschnitt bestimmt.

Zur Bestimmung der Muskeldicke wurde mit der Maus eine Linie zwischen dem superfiziellen Muskel-Bindegewebeübergang des M. rectus femoris und der knöchernen Kontur des Femurs gezogen und mit dem Befehl "Measure" gemessen. Zur Bestimmung des Muskelquerschnitts wurde der Muskel-Bindegewebeübergang des M. rectus femoris in kurzen Abständen mit der Maus angeklickt. Dies ergab eine Linie, die ebenfalls durch den Befehl "Measure" vermessen werden konnte. Das Programm errechnete dann die Länge dieser Linie in mm und den Querschnitt der Fläche, die durch diese Linie umschlossen wurde, in cm².

Es fallen teilweise erhebliche Unterschiede bei der Form des Querschnitts des M. rectus femoris auf. Dies bezieht sich nicht nur auf die individuellen Unterschiede, sondern auch auf die unterschiedliche Form des Querschnitts des M. rectus femoris eines Probanden bei unterschiedlichen Messungen.

Die Vermessung des Muskelquerschnitts mit der Scion Software ergibt geringere Werte als die Vermessung mit dem integrierten Messsystem des Ultraschallgerätes. Die Werte differieren 0,43 cm² für den ersten Messtag und 0,50 cm² für den zweiten Messtag. Die Berechnung für den Zusammenhang des Mittelwertes der Muskeldickenmessungen des ersten und des zweiten Messtages ergibt für die beiden Messmethoden⁴³ einen höchst signifikanten ($p < 0,001$) ICC von $r = 0,997$ bzw. $r = 0,999$. Der entsprechende Vergleich der Muskelquerschnittswerte ergibt ebenfalls einen höchst signifikanten ($p < 0,001$) ICC von $r = 0,959$ für beide Messtage.

⁴² <http://www.scion.com>.

⁴³ Integrierte Messelektronik des Siemens G40 bzw. Vermessung der digitalen Bilder mittels Scion Software.

Welches Auswerteverfahren eine höhere Validität besitzt, könnte nur durch einen Vergleich mit Muskelquerschnittsmessungen durch Magnetresonanztomographie erfolgen.

Die Ergebnisse der Scion Messungen sind in Anhang A aufgeführt. Die Ergebnisse beider Auswerteverfahren unterscheiden sich bezüglich der Muskeldicke des M. quadrizeps femoris nur geringfügig⁴⁴.

Zusammenfassende Bewertung des alternativen Auswerteverfahrens (Scion Image for Windows®)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Vermessung der Ultraschallbilder für Muskeldickenmessungen mit der Scion Software auf Grund der geringen Unterschiede zu den Messungen mit der in dem Siemens G40 Ultraschallgerät integrierten Messelektronik nicht erforderlich ist. Die dargestellten deskriptiven und inferenzstatistischen Daten belegen dies.

⁴⁴ Pretest Siemens : 35,9 mm ; Pretest Scion :35,7 mm ; Posttest Siemens : 35,8 mm ; Posttest Scion : 35,6 mm (vgl. auch Anhang 1).

Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die Reliabilität der Messung von Muskeldicke bzw. Muskelquerschnitt mittels B-Mode Ultraschall⁴⁵ untersucht.

Muskeldicke

Die gute Reliabilität der Messung von Muskeldicken ist in der Literatur mehrfach belegt und deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie. Weiss (1984) untersuchte mittels Ultraschall die Muskeldicke der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur. Die untersuchten Muskeln waren M. quadriceps femoris und die Mm. ischiocrurales. Es wurden zwei Tests in einem Abstand von 30 Minuten durchgeführt. Die Messposition lag 45% der Distanz von der "popliteal crease" (Kniegelenks-Falte) zum Trochanter major. Sie ermittelten Korrelations-Koeffizienten, die zwischen 0,99 (Frauen) und 1,00 (Männer) lagen (Weiss, 1984, S. 166).

Kawakami et al. (1993, S. 2742) untersuchten die Muskeldicke des M. trizeps brachii mittels Ultraschall und ermittelten zwischen der ersten und der zweiten Messung⁴⁶ einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,978$. Ein Vergleich der Muskeldicke, die mittels Ultraschall bzw. manueller Messung an vier Leichen durchgeführt wurde, ergab eine Differenz von 0-1 mm zwischen diesen beiden Messverfahren und belegt somit die Validität dieses Verfahrens.

Muskelquerschnitt

Ikai und Fukunaga (1968) waren die ersten Wissenschaftler, die Ultraschall zur Muskelquerschnittsmessung einsetzten. Sie maßen den Zusammenhang zwischen Muskelquerschnitt und Maximalkraft der Oberarmflexoren an 245 männlichen und weiblichen Probanden. Es wurde jeweils nur eine Messung durchgeführt. Die Besonderheit dieser Untersuchung lag in der Verwendung eines Wassertanks, in den die Probanden ihren Arm hielten.

⁴⁵ Alle hier aufgeführten Ultraschall-Studien benutzten das "B-Mode" Ultraschall-Verfahren (syn.: B-Scan, Brightness-Scan; Deutsch: "B-Bild-Verfahren"). Dieses "B-Bild-Verfahren" liefert eine zweidimensionale Darstellung der untersuchten Gewebe. Das ältere "A-Mode" Ultraschall-Verfahren liefert ein eindimensionales Bild, welches die reflektierten Schallwellen oszillografisch darstellt. An Hand der der Amplitudenabstände kann auf die Tiefe der reflektierten Flächen geschlossen werden (Pschyrembel, 1994, S. 1593).

⁴⁶ Test und Retest wurden innerhalb von 30 Minuten absolviert.

Dieser Wassertank ermöglichte eine Querschnittsmessung des Oberarms ohne direkten Kontakt des Schallkopfes mit der Oberfläche der Extremität und somit ohne Gefahr einer Gewebekompression. Allerdings ist ein derartiges Verfahren sehr aufwendig und verlangt auch weitgehende Modifikationen existierender Ultraschallausrüstung.

Bemben (2002) führte eine Studie zur Reliabilität und Validität der Erfassung von Muskelquerschnitten des M. rectus femoris per Ultraschall durch. Er untersuchte den Querschnitt dieses Muskels 15 cm oberhalb des proximalen Patellarandes. Die Querschnittsmessung mittels Magnetresonanztomographie ergab einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,90$. Die Messung mittels Ultraschall ergab einen Korrelationskoeffizienten von $r=0,80$. Die Messungen mittels Ultraschall wurde an zwei unterschiedlichen Tagen durchgeführt, die Magnetresonanztomographie-Messungen wurden an einem Tag durchgeführt.

Trainingsstudien mit Ultraschall Muskeldickenmessung

Eine Vielzahl von Trainingsstudien wurden mit begleitenden Muskeldickenmessungen per Ultraschall zur Validierung des Trainingserfolgs durchgeführt. Im Folgenden sollen zur besseren Orientierung einige ausgewählte Studien näher erläutert werden.

Trainingsstudie von Young und Bilby (1993)

Young and Bilby (1993) untersuchten 18 männliche Probanden, die über einen Zeitraum von 7 ½ Wochen jeweils 3 x pro Woche 4 Sätze mit 8-12 WDH der halben Kniebeuge bis zur Ausbelastung absolvierten⁴⁷. Eine Gruppe von 8 Probanden trainierte mit schnellen konzentrischen Bewegungen, die übrigen 10 Probanden führten die Übung langsam und kontrolliert durch. Es wurden verschiedene Kraftwerte erhoben sowie Umfangsmessungen und Dickenmessungen des Oberschenkels durchgeführt. Die Ultraschallmessungen wurden in einer liegenden Position vollzogen. Jeweils vier Messungen wurden pro Messzeitpunkt durchgeführt und gemittelt. Es wurde im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (Abe et al., 2000; Pollock et al., 1998; Starkey et al., 1996) nicht die kombinierte Dicke von M. vastus inter-

⁴⁷ Bis zu einem Kniegelenkwinkel von 90°.

medius und M. rectus femoris gemessen sondern beide Muskeldicken wurden einzeln erhoben. Die Autoren stellten bei den kombinierten Ergebnissen beider Gruppen einen mittleren Dickenzuwachs von maximal 24,4% beim M. vastus intermedius und 1,5% beim M. rectus femoris fest. Beide Parameter verbesserten sich signifikant ($p=0,000$). In absoluten Werten kam es zu einer mittleren Muskeldickenzunahme des M. vastus intermedius von 3,97 mm bei der "schnellen" Trainingsgruppe und 3,17 mm bei der "langsamen" Trainingsgruppe. Die Muskeldickenzunahme des M. rectus femoris betrug hingegen nur 0,44 mm bzw. 0,27 mm.

Trainingsstudie von Starkey et al. (1996)

Starkey et al. (1996) untersuchten die Auswirkungen eines 14-wöchigen bilateralen Krafttrainings der Beinstrecker bzw. Beinbeuger auf Kraftwerte und Muskeldicke des M. quadrizeps femoris und der ischiokruralen Muskulatur. Kernpunkt dieser Untersuchung war die Fragestellung, welchen Einfluss die Satzzahl auf die untersuchten Parameter hat. Es wurden drei Gruppen, eine Einsatz-Gruppe (N=18), eine Mehrsatz-Gruppe (N=20) und eine Kontrollgruppe (N=10), gebildet. Als Trainingsprogramm wurden 8-12 WDH bis zur Ausbelastung 3 x wöchentlich durchgeführt. 10 Messpunkte an der vorderen und hinteren Oberschenkelmuskulatur wurden mittels B-Mode Ultraschall gemessen. Diese Messungen wurden in stehender Position durchgeführt. Es kam zu einem moderaten Wachstum von 1-1,5 mm des M. quadrizeps femoris. Die Messungen der ischiokruralen Muskulatur ergaben hingegen einen Zuwachs von 3 mm. Das Dickenwachstum der ischiokruralen Muskulatur erreichte an 4 Messpunkten Werte die die statistische Signifikanzschwelle von ($p\leq 0,05$ bzw. $p\leq 0,01$) überschritten. Die vordere Oberschenkelmuskulatur zeigte einen gleichförmigen Hypertrophie-Trend. Allerdings zeigten die Messwerte der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe jeweils nur für 1 von 8 Messpunkten einen signifikanten Unterschied zwischen Pre- und Post-Test ($p\leq 0,05$).

Trainingsstudie von Pollock et al. (1998)

Pollock et al. (1998) untersuchten die Hypertrophieeffekte bei einem Einsatz- bzw. Dreisatz-Training, welches über einen Zeitraum von 6 Monaten durchgeführt wurde. Die Probanden (N=30) trainierten 3 x pro Woche mit

8-12 WDH bis zur Ausbelastung. Es wurden insgesamt 7 Trainingsübungen absolviert. Die Autoren ermittelten per Ultraschall-Dickenmessung eine signifikante Dickenzunahme des M. quadrizeps femoris, die bei der Einsatz-Gruppe 3 mm und bei der Dreisatz-Gruppe 2 mm betrug.⁴⁸

Trainingsstudie von Abe et al. (2000)

Abe et al. (2000) untersuchten den Zeitverlauf von Muskelkraft- und Muskeldickenänderungen. Der Testzeitraum betrug hierbei 12 Wochen. Die Probanden wurden in eine Krafttrainingsgruppe von 17 Männern und 20 Frauen und eine Kontrollgruppe von 6 Männern und 7 Frauen eingeteilt. Auch bei dieser Untersuchung wurde die Trainingsgruppe in eine Einsatz- und eine Mehrsatzgruppe aufgeteilt. Es wurde ein Trainingsprogramm für den Oberkörper und die Beinmuskulatur, welches 6 Übungen enthielt, mit 8-12 WDH bis zur Ausbelastung durchgeführt. Die Ultraschallmessungen wurden fast über den gesamten Untersuchungszeitraum in 2-Wochen-Intervallen durchgeführt⁴⁹. Der Dickenzuwachs betrug an der Position 70% der Entfernung zwischen der lateralen Femurkondyle und dem Trochanter Major (startend vom Trochanter major) 3,5 mm bei den Männern und 3,1 mm bei den Frauen. Die Kontrollgruppen veränderten sich um -0,8 mm bei den Männern bzw. um 0,2 mm bei den Frauen. Die Muskeldickenzuwächse des M. quadrizeps femoris der Trainingsgruppen waren nicht signifikant; es ließ sich aber, wie schon in der Studie von Starkey et al. (1996), ein deutlicher Wachstumstrend feststellen.

Trainingsstudie von Weiss et al. (2000)

Weiss et al. (2000) untersuchten an 38 männlichen Probanden vier Messverfahren zur Bestimmung von Muskelhypertrophie des M. quadrizeps femoris und der Mm. ischiocrurales. Die Probanden wurden in vier Gruppen aufgeteilt, von denen drei Gruppen ein Krafttraining der Beinmuskulatur⁵⁰

⁴⁸ Gemessen wurde 50% der Entfernung zwischen der lateralen Femurkondyle und dem Trochanter major.

⁴⁹ Ausnahme: In der 10. Woche wurden keine Ultraschallmessungen durchgeführt. Die Kontrollgruppe wurde nur zwei Mal gemessen (Pre-Test - Post-Test).

⁵⁰ Als Trainingsübung wurde die Kniebeuge bis zu einem Kniegelenkwinkel von 100° verwendet.

über 7 Wochen mit unterschiedlichen Wiederholungszahlen ausführten⁵¹. Eine Gruppe diente als Kontrollgruppe. Die erste Messmethode bestand in der Bestimmung der Veränderung des Körpergewichtes mittels einer digitalen Waage. Die zweite Messmethode bestand in einer Umfangsmessung mittels Maßband. Bei der dritten Methode wurden die Werte der Umfangsmessung übernommen, allerdings wurden von diesen Werten die durch zwei Hautfaltenmessungen ermittelte Dicke des Unterhautfettgewebes subtrahiert⁵². Die Ergebnisse bezeichneten die Autoren als "net girth" (Weiss et al., 2000, S. 145). Dieser "Nettumfang" des Oberschenkels sollte den Umfang der Oberschenkelmuskulatur und des Femurs repräsentieren. Die vierte Methode bestand in einer Dickenmessung des M. quadrizeps femoris und der Mm. ischiocrurales mittels eines Ultraschallgerätes mit einem Schallkopf mit einer Frequenz von 7,5 Mhz. Die drei Methoden der Muskelumfangs- und Muskeldickenmessungen erfolgten 45% der Entfernung zwischen der Kniekehle und dem Trochanter major⁵³.

Nur die Muskeldickenmessung mittels Ultraschall war in der Lage, signifikante Muskelzuwächse ($p < 0,05$) des M. quadrizeps femoris bei allen drei Trainingsgruppen festzustellen. Die Autoren stellen fest: "Therefore, sonograms appear to detect training induced hypertrophy that is not detected by body weight, girth, and net girth assessments" (Weiss et al., 2000, S. 147).

Trainingsstudien mit Ultraschall Muskelquerschnittsmessungen

Wie die Muskeldicken wurden auch die Veränderungen der Muskelquerschnitte in verschiedenen Trainingsexperimenten mittels Ultraschall gemessen (De Carvalho, Jorgensen, Schibye, Klausen, & Andersen, 1985; Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy, & Lyttle, 1997). Im Folgenden sollen auch hier ausgewählte Studien dargestellt und mit den eigenen Messmethoden diskutiert werden.

⁵¹ Die drei Trainingsgruppen führten jeweils vier Sätze mit folgenden Wiederholungszahlen jeweils bis zur subjektiven Ausbelastung durch: Gruppe I: 3-5; Gruppe II: 13-15; Gruppe III: 23-25. Es wurden drei Trainingseinheiten pro Woche absolviert.

⁵² Die Autoren verwendeten hierfür die Formel: $\text{net girth} = 3.1416 \left[\left(\frac{\text{girth}}{3.1416} \right) - (\text{skinfold mean}/2) \right]$.

⁵³ Ausgehend von der Kniekehle.

Trainingsstudie von De Carvalho et al. 1985

De Carvalho et al. (1985) untersuchten 30 Probanden über einen Zeitraum von 22 Wochen. Die Probanden wurden in 3 Gruppen aufgeteilt: Die Gruppen I und II führten jeweils 3 x pro Woche ein Krafttraining mit 4 Sätzen durch. Die Gruppe I absolvierte jeweils 6 WDH bis zur Ausbelastung. Die Gruppe II trainierte in den ersten 11 Wochen mit 20 WDH und in den zweiten 11 Wochen mit 6 WDH, ebenfalls bis zur muskulären Ausbelastung. Die Gruppe III bildete die Kontrollgruppe. Die Autoren maßen den Querschnitt des M. vastus lateralis. Sie stellten tendenzielle Zuwächse des Muskelquerschnitts fest, die die Signifikanzgrenze allerdings nicht überschritten. Die Zuwächse für die distale Messung des M. vastus lateralis betragen nach 22 Wochen für die erste Gruppe 1,66 cm² und für die zweite Gruppe 1,65 cm². Der Muskelquerschnitt der Kontrollgruppe reduzierte sich um 0,09 cm².

Trainingsstudie von Ostrowski et al. (1997)

Ostrowski et al. (1997) befassten sich mit der Fragestellung, inwieweit das Trainingsvolumen den Muskelquerschnitt und die Muskelfunktion⁵⁴ beeinflusst. Hierzu untersuchten die Autoren 35 männliche Probanden über einen Zeitraum von 10 Wochen. Die Probanden wurden in 3 Gruppen eingeteilt. Alle Gruppen trainierten viermal pro Woche nach einem periodisierten Trainingsplan, der in den ersten 4 Wochen jeweils ca. 12 WDH, in den Wochen 5-7 jeweils ca. 7 WDH und in den Wochen 8-10 jeweils ca. 9 WDH vorsah. Jeder Satz wurde bis zur Ausbelastung durchgeführt. Der einzige Unterschied der Gruppen lag in der Satzzahl der Trainingsübungen. Die erste Gruppe (low volume) absolvierte bei jeder Übung 3 Sätze, die zweite Gruppe (moderate volume) 6 Sätze und die dritte Gruppe (high volume) 12 Sätze. Die Ultraschallmessung des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris wurde mittig zwischen dem Trochanter Major und dem lateralen Kniegelenksspalt ausgeführt. Zusätzlich wurden zwei Messpunkte 5% ober- und unterhalb dieses Punktes untersucht. An jedem dieser Messpunkte wurden zwei Messungen vollzogen. Diese 6 Werte wurden gemittelt. Die Autoren fanden für alle Messungen ein signifikantes Muskelwachstum, welches für

⁵⁴ Veränderung der dynamischen Maximalkraft und der Sprunghöhe.

die "low volume" Gruppe 0,63 cm², für die "moderate volume" Gruppe 0,47 cm² und für die "high volume" Gruppe 1,13 cm² betrug.

Methodenkritik und Einordnung des eigenen Verfahren

Wie unsere Ergebnisse und die Literatur eindeutig belegen, erlaubt die Ultraschalldiagnostik die reliable und valide Bestimmung von Muskeldicke des M. quadrizeps femoris und des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris. Allerdings ist hierfür eine sorgfältige Handhabung der Messtechnik eine unbedingte Voraussetzung.

Muskeldicke – Einordnung des eigenen Verfahrens

Bei allen Probanden unserer Untersuchung war der Übergang Unterhautfettgewebe-M. rectus femoris und die knöcherne Kontur des Femurs problemlos zu erkennen (vgl. Abbildung 10). Dies ermöglichte eine exakte Vermessung der Muskeldicke mit der Messfunktion des Ultraschallgerätes. Der von uns ermittelte Korrelationskoeffizient von $r=0,987$ liegt in dem Bereich der in der zitierten Literatur angegebenen Korrelationskoeffizienten von $r=0,978$ ⁵⁵ und $r=1,000$ ⁵⁶.

Muskelquerschnitt – Einordnung des eigenen Verfahrens

Die Korrelation der Muskelquerschnittsmessungen unserer Studie lag mit einem Wert von $r=0,996$ deutlich über dem Wert von Bembien (2002) $r=0,80$. Die höhere Reliabilität könnte mehrere Ursachen haben:

1. Unsere Bestimmung des Messpunktes mittels der Folie führt beim Retest zur genaueren Lokalisation des Messpunktes.
2. Das verwendete digitale Ultraschallgerät der neuesten Generation hat eine deutlich bessere Auflösung und ermöglicht daher eine exaktere Bestimmung der Messpunkte.
3. In unserer Studie wurden jeweils 4 Messungen gemittelt. Bembien (2002) mittelte nur jeweils 2 Messungen.

⁵⁵ Kawakami et al. (1993).

⁵⁶ Weiss (1984).

Trotz des hohen Korrelationskoeffizienten war die Bestimmung des Muskelquerschnitts nicht ganz so unproblematisch wie die Bestimmung der Muskeldicke. Bei einigen Probanden war der Muskel – Bindegewebeübergang des M. rectus femoris nur schwer zu erkennen (vgl. Abbildung 12).

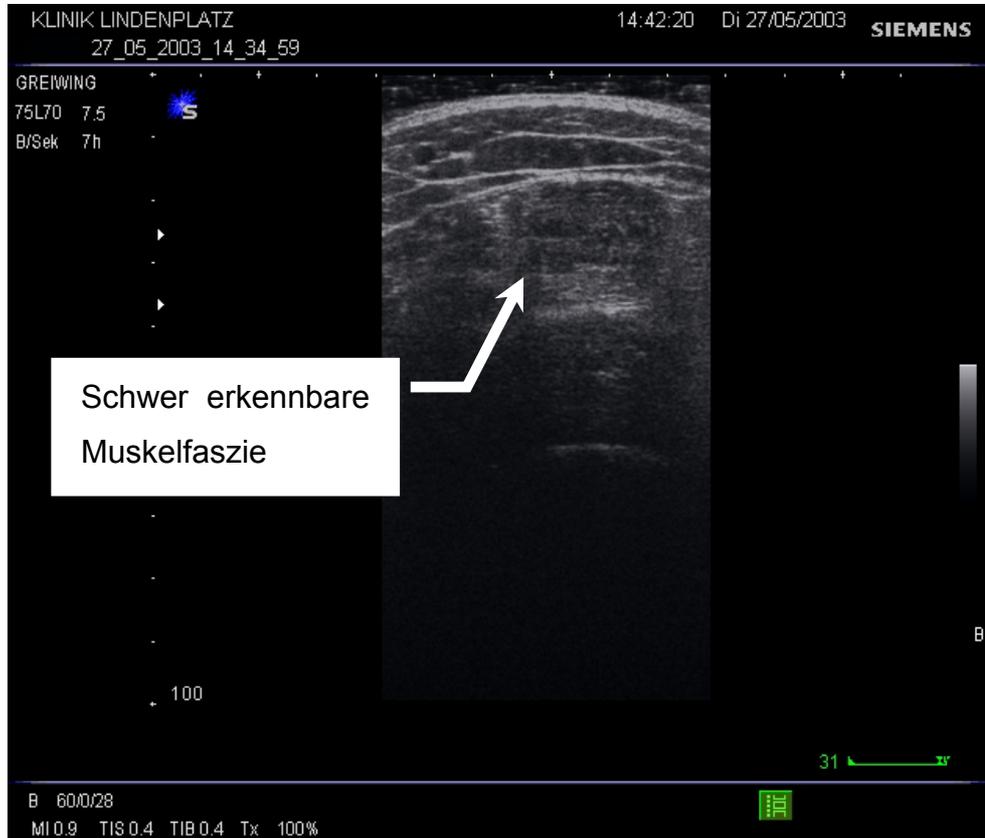


Abbildung 12: Diffuse Darstellung der Begrenzung des M. rectus femoris (Proband 6)

In dieser Studie wurde der Körperfettanteil der Probanden zwar nicht gemessen, allerdings handelte es sich bei dem Probanden Nr. 6 um die schwerste Person des Kollektivs. Da der Proband weder Schwerathlet oder Bodybuilder, sondern eher untrainiert war, könnte möglicherweise ein negativer Zusammenhang zwischen Körperfettanteil und Erkennbarkeit der Muskelfaszie bestehen.

Das Umfahren des Muskelquerschnitts mit Hilfe des Trackballs erwies sich teilweise als schwierig, da es leicht zu Abweichungen von der erkennbaren Muskel-Bindegewebebegrenze kam. Allerdings erlaubte die Messsoftware des Ultraschallgerätes eine einfache Korrektur dieser Abweichungen.

Zusammenfassende Bewertung der Trainingsstudien zur Muskeldickenmessung und Methodenkritik

Die Muskeldickenzuwächse des M. quadrizeps femoris, die in den beschriebenen Studien gemessen wurden, lagen zwischen 1 mm und 4,41 mm. Muskeldickenveränderungen in einem derartigen Bereich können durch unsere Methode der Muskeldickenmessung mittels Ultraschall, wie die Daten belegen, erkannt werden.

Nur in der Studie von Young und Bilby (1993) wurden die Probanden im Liegen untersucht. Bei den anderen drei Studien wurden die Probanden im Stehen untersucht. Ein Nachteil dieses Verfahrens könnte in einer möglichen Aktivierung der Oberschenkelmuskulatur und somit in einer Verfälschung der Muskeldickenwerte bestehen.

Weiterhin ist es bei stehenden Probanden schwieriger, eine große Menge an Ultraschallgel aufzutragen, da dieses Medium durch die Schwerkraft nach unten abfließt. Eine geringere Menge an Ultraschallgel erfordert aber einen höheren Anpressdruck des Schallkopfes, was zu einer Deformation des Gewebes und somit zu einer Verfälschung der Messung führen kann.

Bei dem Verfahren, wie wir es in dieser Vorstudie verwendet haben, und welches wir ebenfalls in der Trainingsstudie anwenden, wird die Problematik der Standardisierung des Anpressdrucks minimiert. Durch Auftragen einer großen Menge Ultraschallgels ist eine klare Darstellung des Muskel-Bindegewebeübergangs und Muskel-Knochenübergangs möglich, ohne einen direkten Kontakt des Schallkopfes mit dem Gewebe zu erfordern.

So wie schon Young und Bilby (1993) haben auch wir pro Messtag jeweils vier Messungen gemittelt. Durch diese Mittelung mehrerer Werte lässt sich der Messfehler ebenfalls verringern. Allerdings hat der Vergleich jeweils nur einer Messung pro Testzeitpunkt ebenfalls eine hohe Reliabilität gezeigt.

Zusammenfassende Bewertung der Trainingsstudien zur Muskelquerschnittmessung und Methodenkritik

Die Untersuchungen von De Carvalho et al. (1985) und von Ostrowski et al. (1997) belegen, dass die Ultraschalldiagnostik ein geeignetes Instrument zur Erfassung des Muskelquerschnitts ist. Die Differenz der Kontroll-

gruppe in der Studie von De Carvalho et al. (1985, S. 253) beträgt zwischen der ersten und letzten Messung⁵⁷ $0,09 \text{ cm}^2$ und besitzt somit eine ähnliche Größenordnung wie der Wert von $0,06 \text{ cm}^2$ in unserer Untersuchung. Die Trainingsintervention von De Carvalho et al. (1985) führt zu keiner signifikanten Muskelhypertrophie. Die Trainingsintensität in dieser Studie lag allerdings bei beiden Trainingsgruppen nicht in einem Bereich, der ein maximales Muskelwachstum induziert⁵⁸.

Ostrowski et al. (1997) benutzten Trainingsmethoden, die auf eine maximale Muskelhypertrophie ausgelegt waren. Bereits nach 10 Wochen waren signifikante Querschnittszunahmen festzustellen.

Die Trainingsmethoden, die in unserer Hauptstudie durchgeführt werden, sind, ähnlich wie in der Studie von Ostrowski et al. (1997) auf eine maximale Muskelhypertrophie ausgelegt.

Zusammenfassung und Ausblick

Ultraschallmessungen können zur Messung von Dicke und Querschnitt verschiedener Muskeln eingesetzt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in der fehlenden Strahlenexposition und den geringen Kosten, die mit dieser Methode verbunden sind. Die Reliabilität dieser Methode ist in der Literatur belegt und wurde in dieser Studie nochmals bestätigt.

Sowohl Muskeldickenmessungen als auch Muskelquerschnittsmessungen wurden in einer Anzahl von internationalen Trainingsexperimenten bereits erfolgreich eingesetzt. Allerdings bewegen sich die Veränderungen der Muskeldicke, die hier vorgestellt wurden, in einem Bereich zwischen 1 mm und 4,4 mm. Die Muskelquerschnittsveränderungen betragen zum Beispiel in der Untersuchung von Ostrowski et al. (1997) zwischen $0,47 \text{ cm}^2$ und $1,13 \text{ cm}^2$.

Die unterschiedliche Adaption des M. vastus intermedius und M. rectus femoris, wie sie von Young und Bilby (1993) beschrieben wird, ist sowohl für das Training von gesunden Sportlern als auch für die Rehabilitation von verletzten Personen von größtem Interesse.

⁵⁷ Distale Messung des M. vastus medialis nach 22 Wochen.

⁵⁸ 6 Wiederholungen bzw. 20 Wiederholungen, jeweils bis zur Ausbelastung.

Fröhner und Börner (1994) untersuchten "kniegesunde" Sportler und Sportler mit Knieverletzungen. Sie kamen, unter anderem, zu dem Ergebnis, dass es bei Knieverletzungen besonders zu einer massiven Atrophie des M. vastus intermedius kommt. Diese Beobachtung konnten wir an einem Fallbeispiel bestätigen. Wir führten an einem Sportler 2 Wochen nach einer schweren Knieverletzung⁵⁹ einen Seitenvergleich mittels Ultraschall durch: Die Muskeldicke des M. quadrizeps femoris des gesunden rechten Beins betrug 36 mm, die der verletzten Extremität nur 17,2 mm. Interessanterweise unterschied sich der Muskelquerschnitt des M. rectus femoris des verletzten Beines (3,17 cm²) nur geringfügig von der des gesunden Beines (3,72 cm²).

In unserer Hauptstudie werden daher die kombinierte Muskeldicke beider Muskeln, als auch die separate Muskeldicke von M. vastus intermedius und M. rectus femoris erhoben.

3.6.2 Adaptationen der Muskulatur

Die Muskulatur des menschlichen Körpers ist in hohem Maße anpassungsfähig. Zwar sind adulte Skelettmuskelfasern als enddifferenzierte Zellen nicht mehr in der Lage sich zu teilen, dennoch besitzen sie die ausgeprägte Fähigkeit, auf Belastungen zu reagieren. Pette und Staron (2001) schreiben hierzu: "Muscle fibers, once considered fixed entities, are in reality, dynamic structures with an extraordinary adaptive potential. Their phenotypic profiles are affected by innervation/neuromuscular activity, exercise training, mechanical loading/unloading, hormones, and aging" (S. 359).

Krafttraining führt zu einem Wachstum der trainierten Muskulatur. Diese Hypothese wurde in einer Vielzahl von Studien belegt (Cureton et al., 1988; Abernethy et al. 1994; Abe et al., 2000; Fleck & Kraemer, 2004; Kraemer et al., 2004). Die Frage, ob es bei der morphologischen Anpassung des Muskelgewebes zu einer Vermehrung von Muskelfasern (Hyperplasie), oder lediglich zu einem Dickenwachstum der vorhandenen Zellen (Hypertrophie) kommt, wird in der Literatur kontrovers diskutiert⁶⁰.

⁵⁹ Innenmeniskusschaden und Ruptur des vorderen Kreuzbandes.

⁶⁰ Vgl. Hollmann & Hettinger, 2000, S. 190.

Der auslösende Reiz für eine Muskelhypertrophie

Es ist bis heute nicht bekannt, welche Reize (bzw. Kombination von Reizen) eine Muskelhypertrophie auslösen (vgl. Hollmann et al., 2000, S. 200; Takarada et al., 2000c, S. 2097). Fowles et al. (2000) nennen in ihrer Arbeit eine Vielzahl von möglichen Stimuli: "A number of factors may modulate muscle protein balance in skeletal muscle, including force, strain, damage and repair, metabolic stress, and hormonal influences" (S. 166).

Bis vor kurzem galt die Muskelspannung als entscheidender Auslöser für einen Muskelzuwachs: "A requirement for training induced hypertrophy is high tension of a muscle for a sufficient duration which somehow provides the signal for increased uptake of amino acids and enhanced synthesis of contractile proteins" (Häkkinen, 2002, S. 27). Im Tierversuch konnte eine hypertrophieauslösende Wirkung einer passiven Dehnung nachgewiesen werden. Alway, Winchester, Davis und Gonyea (1989) setzten 34 japanische Wachteln über 30 Tage einer Dauerdehnung eines Flügels mit 10% ihres Körpergewichtes aus. Die Autoren ermittelten eine mittlere Zunahme der Muskelmasse des M. anterior latissimus dorsi der Tiere von 171,8% ($\pm 13,5$). Der Muskelfaserquerschnitt vergrößerte sich um 56,7% ($\pm 12,3$), die Muskelfaserzahl um 51,8% ($\pm 19,4$)⁶¹. Allerdings konnten Fowles et al. (2000) nach einer passiven Dehnung des M. soleus beim Menschen keine signifikante Erhöhung der Proteinsynthese feststellen⁶². Sie verglichen die Auswirkungen einer passiven Dehnung des M. soleus über einen Zeitraum von ca. 27 Minuten und intermittierenden isometrischen Kontraktionen auf die Proteinsynthese dieses Muskels. Fowles et al. (2000) kamen zu dem Schluss:

Our data strongly suggests, therefore, that passive stretch is not a primary activating signal for increased muscle protein synthesis in humans and has little contribution to the elevated FSR [Anmerkung: Fractional protein synthetic rate] directly following weightlifting, since the stretch component in the present study greatly exceeds that which

⁶¹ Die Muskelfaseranzahl wurde in 10 Tieren der Stichprobe ermittelt.

⁶² Die intermittierenden isometrischen Kontraktionen führten zu einem signifikanten Anstieg der Proteinsynthese.

occurs during a weightlifting bout." (S. 176)

Rooney, Herbert und Balnave (1994) untersuchten die Bedeutung der Ermüdung im Krafttraining als Faktor für eine Muskelhypertrophie. Sie verglichen zwei Trainingsgruppen, die über einen Zeitraum von sechs Wochen drei Mal wöchentlich ihre Armbeugemuskulatur trainierten. Die erste Trainingsgruppe führte ein konventionelles dynamisches Krafttraining aus. Die Probanden der zweiten Gruppe legten zwischen jeder Wiederholung eine Pause von 30 Sekunden ein. Die konventionell trainierende Krafttrainingsgruppe erzielte signifikant größere Steigerungen ihrer dynamischen Maximalkraft als die Gruppe, welche Pausen zwischen den einzelnen Wiederholungen absolvierten. Die Autoren schlossen: "This suggests that processes associated with fatigue contribute to the stimulus by which training induces increases in strength" (Rooney et al., 1994, S. 1164).

Eine aktuelle Untersuchung von Goto, Ishii, Kizuka und Takamatsu (2005) belegt die Ergebnisse von Rooney et al. (1994). In dieser Untersuchung führten zwei Trainingsgruppen⁶³ ein Krafttraining mit den Übungen Latissimusziehen, Schulterdrücken und Beinstrecken⁶⁴ über 12 Wochen durch. Beide Trainingsgruppen trainierten zwei Mal pro Woche⁶⁵ mit einer Belastungsintensität die ihrem 10 RM entsprach. Es wurden zwischen drei und 5 Sätze mit einer Pausenlänge von einer Minute zwischen den Sätzen und Übungen ausgeführt. Zusätzlich zu diesen Pausen legte eine Trainingsgruppe jeweils in der Mitte der Trainingssätze eine Pause von 30 Sekunden ein. Die Gruppe, welche ohne Pausen in den Sätzen trainierte erreichte signifikant größere Steigerungen ihrer dynamischen und isometrischen Maximalkraft der Beinstrecker als die Gruppe, die Pausen in den Sätzen machte. Goto et al. (2005) konnten außerdem mittels Magnetresonanztomographie eine signifikant größere Zunahme des Muskelquerschnitts des M. quadrizeps femoris der Trainingsgruppe ohne interserielle Pausen gegenüber der Trainingsgruppe mit interserieller Pause feststellen.

⁶³ Die Stichprobe bestand aus 26 krafttrainingserfahrenen männlichen Probanden, die auf zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe aufgeteilt wurden.

⁶⁴ Die Übung Beinstrecken wurde beidbeinig ausgeführt.

⁶⁵ In der ersten Woche wurde nur eine Trainingseinheit absolviert.

Aktuelle Studien, die durch elastische Manschetten ischämische⁶⁶ Bedingungen in der Extremitätenmuskulatur erzeugen, unterstützen die Bedeutung des metabolischen Stresses als Faktor für eine Muskelhypertrophie (Burgomaster et al., 2003; Moore et al., 2004; Shinohara, Kouzaki, Yoshihisa, & Fukunaga, 1998; Takarada & Ishii, 2002; Takarada et al., 2000a; Takarada, Sato, & Ishii, 2002; Takarada, Takazawa, & Ishii, 2000b; Takarada et al., 2000c).

11 weibliche Probanden ohne Krafttrainingserfahrung erzielten in einer Untersuchung von Takarada et al. (2000c) bei einer Belastungsintensität von 50% des EWM nach einem 16-wöchigen unilateralen Krafttraining der Armbeugemuskulatur signifikante Muskelquerschnittsvergrößerungen von 20,3% des M. biceps brachii bzw. 17,8% des M. brachialis. Die Blutversorgung des betroffenen Armes wurde durch eine elastische Manschette während des Trainings beeinträchtigt. Der gemittelte Druck der Manschette betrug 110 mmHG ($\pm 7,1$). Eine zweite Gruppe, die mit 80% des EWM trainierte, erreichte ebenfalls signifikante Vergrößerungen des Muskelquerschnitts der Armbeugemuskulatur. Die Zuwächse dieser Gruppe fielen mit 18,4% für den M. biceps brachii bzw. 11,8% für den M. brachialis tendenziell geringer aus.

Zur Überprüfung der Effektivität eines Krafttrainings unter ischämischen Bedingungen bei trainierten Sportlern untersuchten Takarada et al. (2002) an 17 krafttrainingserfahrenen⁶⁷ männlichen Probanden die Auswirkungen eines Krafttrainings mit geringer Belastungsintensität⁶⁸ mit und ohne Blutabschluss. Die Probanden der Trainingsgruppen absolvierten ein achtwöchiges Krafttraining⁶⁹ der Beinstreckmuskulatur. Die erste Trainingsgruppe (N=6) trug während des Krafttrainings elastische Manschetten um die proximalen Anteile des Oberschenkels, die einen mittleren Druck von 196 mmHg ($\pm 5,7$) ausübten. Die zweite Trainingsgruppe (N=6) führte das Krafttraining ohne Einschränkung des Blutflusses durch. Eine Kontrollgruppe (N=5) absol-

⁶⁶ "Ischämie: Verminderung oder Unterbrechung der Durchblutung eines Organs, Organteils od. Gewebes in Folge mangelnder arterieller Blutzufuhr" (Psyrembel, 1994, S. 739).

⁶⁷ Die Probanden (Rugbyspieler) besaßen eine Krafttrainingserfahrung von mindestens fünf Jahren.

⁶⁸ 50% des EWM.

⁶⁹ Die Probanden der Trainingsgruppen trainierten zwei Mal pro Woche jeweils vier Sätze an einer Beinstreckmaschine. Die Bewegungsgeschwindigkeit betrug ca. 2 Sekunden für die konzentrische und die exzentrische Phase. Die Pausendauer betrug 30 Sekunden.

vierte kein Krafttraining. Die Probanden der Trainingsgruppe, die unter Blutabschluss trainierten, erzielten signifikante ($p < 0,01-0,05$) Verbesserungen ihrer isometrischen und dynamischen Maximalkraft, ihrer Kraftausdauer sowie des Muskelquerschnitts ihrer Beinstreckmuskulatur. Die Trainingsgruppe ohne Blutabschluss und die Kontrollgruppe erzielten keine signifikanten Gewinne für die genannten Parameter.

Die in der Untersuchung von Takarada et al. (2002) gemessene Muskelquerschnittsvergrößerung der Beinstreckmuskulatur von 12,3% ($\pm 0,8$) der Gruppe mit Blutabschluss erstaunt. Krafttrainingserfahrene Sportler verfügen nur über geringe Adaptationskapazitäten (vgl. Kraemer & Ratamess, 2004, S. 684). Entsprechend zeigte die Trainingsgruppe ohne Blutabschluss erwartungsgemäß keinen signifikanten Zuwachs des Muskelquerschnitts.

Der Reiz des Blutabschlusses kann auch ohne trainingsbedingte Muskelanspannung zu anabolen Effekten führen bzw. katabole Effekte verringern. Takarada et al. (2000b) konnten in einer Studie belegen, dass Patienten allein durch mehrfachen Blutabschluss⁷⁰ der verletzten Extremität⁷¹ eine Reduktion der Muskelatrophie erreichen konnten. Ohne die Intervention kam es zu einer mittleren Verringerung der Querschnittsfläche⁷² der Beinstreckmuskulatur von 20,7% ($\pm 2,2$). Mit Blutabschluss stellten die Autoren eine signifikant ($p < 0,05$) geringere Muskelatrophie der Beinstreckmuskulatur von 9,4% ($\pm 1,6$) fest. Takarada et al. (2000b, S. 2035) nennen drei Gründe für die anabole Wirksamkeit des Blutabschlusses:

1. Zusätzliche Rekrutierung von schnellen Muskelfasern unter hypoxischen Bedingungen.
2. Moderate Produktion von Reaktiven Sauerstoffspezies (reactive oxygen species \rightarrow ROS).
3. Stimulierte Sekretion von Katecholaminen und Wachstumshormonen

⁷⁰ Es wurde zwei Mal pro Tag jeweils 5 x 5 Minuten ein Blutabschluss durch eine Manschette provoziert. Die Pausen zwischen den einzelnen Blutabschluss-Interventionen betrug jeweils 3 Minuten.

⁷¹ Es handelte sich um Patienten, bei denen eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes durchgeführt worden war.

⁷² Zur Bestimmung des jeweiligen Muskelquerschnitts wurden mittels Kernspin zwei Querschnitte proximal und distal des Femurs jeweils drei Mal mit der Software NIH image (Version 1.25) vermessen. Der Mittelwert dieser Messungen wurde jeweils als Muskelquerschnitt der Beinstreck- bzw. Beinbeugemuskulatur definiert.

Die Untersuchungen zeigen, dass ein Krafttraining mit vergleichsweise geringer mechanischen Belastung zu einer bedeutenden Muskelhypertrophie führen kann, wenn eine metabolische Stresssituation in der zu trainierenden Muskulatur vorliegt. Muskelkontraktionen unter hypoxischen⁷³ Bedingungen unterliegen nicht dem Henneman'schen Größenordnungsprinzip (vgl. S. 88). Unter hypoxischen Bedingungen, wie sie durch einen Blutabschluss erzeugt werden, erfolgt eine Aktivierung auch der schnellen Muskelfasertypen bei geringen Belastungsintensitäten (Moritani, Sherman, Shibata, Matsumoto, & Shinohara, 1992). Da schnelle Muskelfasern eine größere Hypertrophiekapazität als langsame Muskelfasern besitzen, ist die Aktivierung dieser Fasern von entscheidender Bedeutung für eine maximale Hypertrophie (vgl. McCall et al., 1996).

Molekulare und zelluläre Aspekte des Adaptationsvorgangs

Ein Wachstum der postnatalen Skelettmuskulatur basiert auf einer Veränderung des Fließgleichgewichtes zwischen Proteinsynthese und Proteinabbau (vgl. Hollmann et al., 2000; Mader, 1990). Die Voraussetzung für die Veränderung dieses Fließgleichgewichtes ist ein Reiz, der auf den genetischen Apparat der Muskelzelle wirkt (vgl. Mader, 1990).

Die Herstellung von Proteinen aus Aminosäuren wird als Proteinsynthese bezeichnet (vgl. Alberts et al., 2004; Andersen, Schjerling, & Saltin, 2000; Reineke, 2004). Zwei wichtige Phasen dieser Proteinsynthese sind **Transkription** und **Translation**.

Transkription

Die Transkription ist die erste Phase der Proteinsynthese. Sie beschreibt die Übertragung der genetischen Information, die als Basensequenz im Zellkern enthalten ist, von der DNA⁷⁴ auf die RNA⁷⁵. Der DNA Strang wird hierbei aufgetrennt und die enthaltene Information mittels einer RNA-Polymerase in mRNA⁷⁶ umgeschrieben. Die mRNA transportiert die abgele-

⁷³ "Hypoxie: Herabsetzung des Sauerstoffgehaltes im Gesamtorganismus od. bestimmten Körperregionen" (Pschyrembel, 1994, S. 696).

⁷⁴ Deoxyribonucleic acid.

⁷⁵ Ribonucleic acid.

⁷⁶ Messenger-RNA.

senen Informationen aus dem Zellkern zu den Ribosomen im Zytoplasma der Zelle (vgl. Alberts et al., 2004, S. 348-387).

Translation

Die Translation bildet die zweite Phase der Proteinsynthese und beschreibt die endgültige Übersetzung der mRNA in Proteine. Transfer-RNAs dienen als Vermittler zwischen den Codons⁷⁷, der mRNA und den dazu passenden Aminosäuren. Die tRNA-Moleküle bewegen sich frei im Zytoplasma der Zelle und koppeln die zu ihnen passenden Aminosäuren an ihre Anheftungsstelle an. Die beladenden tRNA-Moleküle wandern zu den Ribosomen, wo tRNA-Anticodons komplementäre Basenpaarungen mit den entsprechenden mRNA-Codons eingehen. Die Ribosomen bewegen sich dann Codon für Codon auf dem mRNA weiter. Passende tRNA-Moleküle lagern sich solange an, bis das gesamte Protein entsprechend der Information der mRNA synthetisiert wurde (vgl. Alberts et al., 2004, S. 388-421).

Die Steigerung der Proteinsynthese erfolgt durch Veränderungen auf der Ebene der Transkription, der Translation sowie der posttranslatorischen Modifikation⁷⁸ (vgl. Viru & Viru, 2001, S. 14). Mader (1990, S. 44) sieht in einer gesteigerten Transkriptionsrate den entscheidenden Faktor für eine Steigerung der Proteinsynthese. Goldspink (2003) dagegen hält eine Veränderung auf der Ebene der Translation für den entscheidenden Faktor für eine erhöhte Proteinsynthese: "This rapid increase in total RNA, which is mainly ribosomal RNA, indicates that muscle fibre hypertrophy may be controlled mainly at the level of translation and that the rapid increase in the number of ribosomes means that more messages can be translated into protein" (S. 123).

⁷⁷ Ein Codon ist die Bezeichnung für eine Gruppe von drei aufeinander folgenden Nukleotiden. Jedes Codon steht für eine Aminosäure oder signalisiert die Beendigung eines Translationsprozesses (vgl. Alberts et al., 2004, S. 389).

⁷⁸ Ein neu synthetisiertes Protein muss nach der Translationsphase eine bestimmte dreidimensionale Form annehmen, um seine Funktion erfüllen zu können (vgl. Alberts et al., 2004, S. 409).

Satellitenzellen

Postnatale Skelettmuskelzellen sind nicht in der Lage sich durch Zellteilung zu vermehren. Zellen mit stammzellenartigen Eigenschaften, die Satellitenzellen, ermöglichen die Regeneration von verletzten Muskelfasern oder auch eine Anpassung an einen Trainingsreiz (vgl. Hawke & Garry, 2001; Wernig, 2001). Somit sind diese Zellen von entscheidender Bedeutung für die trainingsinduzierte Vergrößerung von Skelettmuskelfasern.

Der Name "Satellitenzelle" basiert auf der Position der Zellen innerhalb der Basalmembran, jedoch außerhalb des Sarkolemm einer Muskelfaser. Satellitenzellen bleiben inaktiv, bis es zu einer Schädigung der Muskelfaser kommt. Die beschädigten Faserabschnitte werden von infiltrierenden Makrophagen⁷⁹ phagozytiert⁸⁰. Nach einer Schädigung der Muskelzelle erreicht die Infiltration von Makrophagen innerhalb von 48 Stunden ihren Höhepunkt (vgl. Hawke & Garry, 2001, S. 542). Makrophagen scheinen neben dem Abbau nekrotischer Muskelfaserabschnitte eine wichtige Steuerungsfunktion für die Regeneration beschädigter Muskelzellen zuzukommen. Sie sondern eine Anzahl verschiedener Zytokine ab, welche den Satellitenzellen-Pool regulieren (vgl. Hawke & Garry, 2001, S. 542). Nach einer künstlich erhöhten Makrophagen-Infiltration konnte eine verstärkte Proliferation und Differenzierung von Satellitenzellen beobachtet werden (vgl. Lescaudron et al., 1999).

Die aktivierten Satellitenzellen, die jetzt als Myoblasten bezeichnet werden, vermehren sich in den folgenden Tagen und fusionieren zu Myotuben, welche bis zum normalen Faserdurchmesser mit normalen Kontraktionseigenschaften wachsen (vgl. Wernig, 2001, S. 5-6).

Kadi et al. (2004) stellten in ihrer Arbeit an 15 männlichen Probanden eine signifikante Vergrößerung des Satellitenzellen-Pools durch ein dreimonatiges Krafttraining fest. Diese Vergrößerung betrug nach 30 Tagen 19,3% und nach 90 Tagen 31,4%. Nach Beendigung der Trainingsphase beobachteten die Autoren im Verhältnis zu der Pre-Test-Werten eine fortschreitende Abnahme der Satellitenzellen. Allerdings war die Zahl dieser Zellen auch 60

⁷⁹ Große Fresszellen.

⁸⁰ Die beschädigten Teile der Muskelfaser werden durch die Makrophagen aufgenommen.

Tage nach Ende der Trainingsphase noch signifikant größer als beim Pre-Test.

Hypertrophie

Eine Massenzunahme der Muskulatur wird durch eine Vergrößerung des Myofibrillenquerschnitts als auch der Myofibrillenzahl der einzelnen Muskelfasern hervorgerufen (MacDougall, 1994; Tesch, 1998). Die Querschnittsvergrößerung der Myofibrillen führt zu einem "... Ungleichgewicht in der gitterförmigen Anordnung der Aktin- bzw. Myosinfilamente" (Goldspink, 1994, S. 217; Goldspink & Harridge, 2003, S. 238). Dieses Ungleichgewicht verursacht bei einer Spannungsentwicklung zweier benachbarter Sarkomere eine schräge Zugwirkung der Aktinfilamente auf die Z-Scheiben der Sarkomere. Sobald der Querschnitt der Myofibrillen eine kritische Größe überschreitet, erfolgt eine longitudinale Aufspaltung der Myofibrillen (Goldspink, 1994, S. 217; Hollmann et al., 2000, S. 194; MacDougall, 2003, S. 253). Die Myofibrillendichte innerhalb der Muskelfasern ändert sich nicht durch die Zunahme von Myofibrillenquerschnitt bzw. Myofibrillenzahl (MacDougall, 1994, S. 234; MacDougall, 2003, S. 253).

Die Zunahme des Muskelfaserquerschnitts ist abhängig vom Muskelfasertyp. Ein Krafttraining kann sowohl zur Hypertrophie von Muskelfasern⁸¹ des Typs I als auch des Typs II führen. McCall et al. (1996) untersuchen in ihrer Studie die Effekte eines achtwöchigen Krafttrainings unter anderem auf Muskelquerschnitt bzw. Muskelfaserquerschnitt bei 12 Fitnesssportlern. In Bezug auf die Zunahme der Muskelfaserquerschnittsfläche der Muskelfasertypen I und II kommen die Autoren zu folgendem Ergebnis: "There was a greater relative hypertrophy of type II fibers as a result of training, as indicated by the significant increase in type II-to-I fiber area ratio" (S. 2010).

In der Trainingsstudie von Aagaard et al. (2001) wird ebenfalls eine signifikant größere Hypertrophiefähigkeit der schnelleren Muskelfasertypen gegenüber den langsameren Muskelfasertypen beschrieben⁸². In dieser

⁸¹ Vgl. Tabelle 11 und Tabelle 12.

⁸² In der Studie von Aagaard et al. (2001) wird eine signifikante Querschnittszunahme ($p=0,05$) nur für die Typ II Muskelfasern ermittelt, der Querschnittszuwachs der Typ I Muskelfasern verfehlt knapp die Signifikanzgrenze ($p=0,07$).

Arbeit nahmen 11 männliche Probanden an einem 14-wöchigen Krafttraining teil.

Campos et al. (2002) untersuchten in ihrer achtwöchigen Studie die Effekte von drei Krafttrainingsmethoden auf die lokale Muskelausdauer, Maximalkraft und verschiedene kardiovaskuläre Parameter an 32 untrainierten männlichen Probanden. Zusätzlich wurde vor und nach der Studie Muskelbiopsien des M. vastus lateralis durchgeführt. Die entnommenen Gewebeproben wurden auf das Muskelfaserspektrum, den Querschnitt der einzelnen Muskelfasern, den Gehalt an MHC⁸³ und die Kapillarisation untersucht. Nur bei den zwei Trainingsgruppen⁸⁴, die mit niedriger (3-5) bzw. mittlerer (9-11) Wiederholungszahl trainierten, ergaben sich signifikante ($p \leq 0,05$) Muskelfaser-Querschnittszunahmen. Auch in dieser Studie zeigte sich eine größere Hypertrophiefähigkeit der schnelleren Muskelfasertypen (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Prozentuale Querschnittsvergrößerung der Muskelfasertypen nach 8 Wochen Krafttraining (nach Campos et al., 2002, S. 55)

Muskelfasertyp	Typ I	Typ IIA	Typ IIB
	12,5	19,5	26,5

Hyperplasie

Die Konstanz der genetisch determinierten Muskelfaseranzahl eines Muskels nach Abschluss des Wachstums wurde bereits an Hand von Tierexperimenten im Jahre 1897 beschrieben (Morpurgo, 1897 zitiert nach MacDougall, 1994, S. 235). Erste Zweifel an dieser Hypothese wurden in den 70er Jahren durch eine Anzahl von Untersuchungen geweckt, die im Tierexperiment eine Hyperplasie der Skelettmuskelfasern nachwiesen (vgl. MacDougall, 1994, S. 235). Alway et al. (1989) stellten eine Zunahme der Muskelfaseranzahl von 51,8% ($\pm 19,4$) durch einen 30-tägigen Dehnungsreiz fest (vgl. S. 64).

⁸³ MHC=Myosin heavy chain=schwere Myosinketten

⁸⁴ In dieser Studie wurden 32 untrainierte Männer auf vier Trainingsgruppen aufgeteilt. Trainingsgruppe "Low Rep" trainierte mit 3-5 Wiederholungen, Trainingsgruppe "Int Rep" trainierte mit 11-9 Wiederholungen und die Trainingsgruppe "High Rep" trainierte mit 20-28 Wiederholungen. Die vierte Gruppe diente als Kontrollgruppe.

Für menschliche Skelettmuskulatur ist die Frage, ob ein Muskelwachstum durch Hyperplasie möglich ist, weiterhin umstritten. Fleck und Kraemer (2004) schreiben in ihrer Arbeit: "MacCall and Colleagues (1996) showed some evidence for hyperplasia in the biceps muscle despite hypertrophy accounting for the greatest portion of muscle enlargement" (S. 86). Allerdings kann die Arbeit von McCall et al. (1996) nicht als eindeutiger Beleg für die Möglichkeit der Muskelfaserhyperplasie beim Menschen gewertet werden. Bei der Betrachtung der gesamten Trainingsgruppe von 11 Probanden kommen die Autoren zu dem Ergebnis: "Therefore, within the limitations of our methods, muscle fiber hyperplasia was not evident in our study" (S. 2009). Erst nach einer Teilung der Probanden in zwei Gruppen, abhängig von dem in der Studie festgestellten Wachstum der Typ II Muskelfasern, können McCall et al. (1996) eine signifikante Zunahme der Muskelfasern bei sechs Probanden feststellen.

Kadi, Eriksson, Holmner, Butler-Browne, und Thornell (1999) stellten in einer Biopsie-Studie⁸⁵ an 10 Kraftdreikämpfern der Leistungsklasse fest: "The presence of small diameter fibres expressing markers for early myogenesis indicates the formation of new muscle fibres" (S. 189). Die Autoren vermuten einen Zusammenhang zwischen der hohen Trainingsintensität, die in der Sportart Kraftdreikampf eingesetzt wird, und der Möglichkeit der Muskelfaserhyperplasie.

Obschon keine direkten Belege für eine Hyperplasie beim Menschen existieren, gibt es Hinweise einer Vermehrung von Muskelfasern, wenn extreme Trainingsintensitäten und/oder Trainingsumfänge über einen längeren Trainingszeitraum zum Einsatz kommen⁸⁶. Diese Neogenese von Muskelfasern würde eine genetisch determinierte Grenze des Muskelwachstums, wie sie zum Beispiel von Sale postuliert wird (Sale, 1994, S. 261), in Frage stellen. Allerdings sind hierbei nur noch moderate Zuwächse zu erwarten. Fleck und Kraemer (2004) fassen die Bedeutung dieser Streitfrage mit dem (möglichen) Anteil der Hyperplasie am Muskelwachstum zusammen: "If hyperplasia

⁸⁵ Es wurde der M. trapezius untersucht.

⁸⁶ Vgl. Alway et al. (1989); Tesch & Karlsson (1985); Kadi et al. (1999), Fleck & Kraemer (2004).

does occur it may only account for a small portion (e.g. 5-10%) of the increase in muscle size" (S. 86).

Exkurs 3: Proteinmetabolismus

Wie schon in dem Abschnitt zur Muskelhypertrophie beschrieben, erfolgt der Hauptanteil des Muskelzuwachses durch Vermehrung der Myofibrillen. Die Proliferation der Myofibrillen wird durch eine Veränderung des Proteinmetabolismus hervorgerufen.

Die Halbwertszeit der kontraktilen Eiweiße eines Muskel liegt bei ca. 7-15 Tagen (Goldspink, 1994, S. 220; Goldspink & Harridge, 2003, S. 237). Der Muskel ist hierdurch in der Lage, schnell auf eine Zerstörung von Muskelproteinen zu reagieren und diese zu ersetzen. Zudem ermöglicht die kurze Halbwertszeit der Proteine optimale Adaptationsmöglichkeiten auf Stimuli wie zum Beispiel Krafttrainingsreize, oder aber auf das Fehlen entsprechender Stimuli wie zum Beispiel die Muskelatrophie nach Verletzungen und anschließender Immobilisation. Die Beeinflussung der Proteinsyntheserate bzw. der Proteinabbaurate, oder beider Variablen führt letztendlich zu einem Muskelmassenaufbau bzw. Muskelmassenabbau.

Es existieren verschiedene diagnostische Verfahren zur Bestimmung des Proteinmetabolismus. Tipton und Wolfe (1998) unterscheiden zwischen Verfahren, die den Proteinmetabolismus des ganzen Körpers erfassen und Verfahren, die lediglich den Proteinmetabolismus eines einzelnen Muskels erfassen. Die Autoren bezweifeln die Eignung von Ganzkörperverfahren zur Messung der Veränderung des Proteinmetabolismus von Skelettmuskulatur:

Whole body methods were designed for studying steady-state circumstances and may be inaccurate and/ or too insensitive in the non-steady-state of exercise and recovery. Even if the methodology accurately reflects whole body metabolism, this may not reflect changes in the protein metabolism of muscle. For example, whereas muscle protein makes up about 50% of the protein in the body, it accounts for only about 25% of total protein synthesis at rest (Nair et al. 1988, Bennett et al. 1989).

(Tipton & Wolfe, 1998, S. 379)

Durch den geringen Anteil der Skelettmuskulatur am Proteinmetabolismus des gesamten Körpers ist es durchaus möglich, dass geringe Veränderungen im Proteinstoffwechsel der inneren Organe eine Veränderung des Proteinmetabolismus der Skelettmuskulatur überdecken (Nair, Halliday, & Griggs, 1988).

Eine Anzahl von Studien wurden mit Methoden⁸⁷ zur Bestimmung des Proteinmetabolismus einzelner Muskeln durchgeführt und führten zu einer genaueren Beschreibung des Proteinmetabolismus der Skelettmuskulatur (Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997; Tipton, Borsheim, Wolf, Sanford, & Wolfe, 2003; Tipton & Wolfe, 1998).

Proteinsynthese

Krafttraining führt zu einer Erhöhung der Proteinsyntheserate (Biolo, Maggi, Williams, Tipton, & Wolfe, 1995; Phillips et al., 1997) der Skelettmuskulatur. In der Untersuchung von Biolo et al. (1995) stellten die Autoren 3 Stunden nach einem ca. 40 minütigen Krafttraining eine Erhöhung der Proteinsynthese von ca. 100% fest. Die Erhöhung der Proteinsyntheserate ist bis zu 48 Stunden nach dem Krafttrainingsreiz messbar (Phillips et al., 1997). Phillips et al. (1997, S. E103) untersuchten die Reaktion des Proteinmetabolismus 3, 24 und 48 Stunden nach 8 Sätzen eines konzentrischen bzw. exzentrischen Krafttrainings der Beinstreckmuskulatur. Die Autoren maßen die maximale Zunahme der Proteinsynthese 3 Stunden nach dem Trainingsreiz.

Es existieren zur Zeit noch keine Daten über Veränderungen des Proteinmetabolismus während eines Krafttrainings (vgl. Rennie, Wackerhage, Spangenburg, & Booth, 2004, S. 813). Allerdings gehen Rennie et al. (2004) an Hand vorliegender Daten von Studien über den Proteinmetabolismus beim Gehen bzw. Radfahren davon aus, dass es während eines Krafttrainings zu keiner Veränderung bzw. zur Verringerung der Proteinsynthese kommt.

⁸⁷ Methode zur Bestimmung der FSR (fractional synthesis rate), Methode zur Bestimmung der FBR (fractional breakdown rate) und A-V Model (arteriovenous model) (vgl. Tipton & Wolfe, 1998, S. 379-380).

Proteinkatabolismus

Ein Krafttrainingsreiz führt nicht nur zu einer Steigerung der Proteinsyntheserate, sondern auch zu einem gesteigerten Proteinkatabolismus des trainierten Muskels bzw. der trainierten Muskeln (Biolo et al., 1995; Phillips et al., 1997; Tipton & Wolfe, 1998). Diese Zunahme des Proteinkatabolismus lässt sich jedoch mit Analysemethoden, die den Proteinkatabolismus des gesamten Körpers beinhalten, verifizieren (Tipton & Wolfe, 1998, S. 378). In der schon erwähnten Untersuchung von Biolo et al. (1995, S. E518) stellen die Autoren 3 Stunden nach einem Krafttraining der Beinmuskulatur eine Erhöhung des Proteinkatabolismus von ca. 50% fest. Da zu diesem Zeitpunkt die Proteinsynthese um ca. 100% erhöht war, stellten die Autoren eine positive Veränderung des Verhältnisses von Proteinaufbau zu Proteinabbau fest.

Zusammenhang zwischen Proteinaufbau und Proteinabbau im Skelettmuskel

Tipton und Wolfe (1998, S. 380) fanden in mehreren Studien einen engen Zusammenhang zwischen Proteinmetabolismus und Proteinkatabolismus (Biolo, Chinkes, Zhang, & Wolfe, 1992; Biolo et al., 1995; Ferrando, Lane, Stuart, Davis-Street, & Wolfe, 1996). Eine Bestimmung nur der Proteinsyntheserate bzw. nur des Proteinabbaus ist nicht ausreichend zur Bestimmung der Veränderungen des Proteinmetabolismus, wie sie beispielsweise durch einen Krafttrainingsreiz ausgelöst werden.

Ein entscheidende Faktor für den Proteinmetabolismus ist die Verfügbarkeit von Aminosäuren (Biolo et al., 1995; Tipton et al., 2003; Tipton, Ferrando, Phillips, Doyle, & Wolfe, 1999). Die Verfügbarkeit von Aminosäuren beeinflusst hierbei sowohl die Proteinsynthese als auch den Proteinkatabolismus. Biolo et al. (1995) stellten in ihrer Studie eine Steigerung des Blutflusses von 90% in den Beinen der Probanden 3 Stunden nach einem Krafttraining im Vergleich zum Ruhewert fest. Obwohl der Gehalt an Aminosäuren im arteriellem Blutsrom sich nicht erhöht hatte, steigerte sich der Transport von Leucin, Lysin, und Alanin aus dem arteriellen Blutstrom in den Muskel um 60%-120% (Biolo et al., 1995, S. E519). Dies belegt die Bedeutung der Veränderung der Durchblutung für Proteinmetabolismus und Muskelhyper-

trophie. Hierbei ist die extrazelluläre Konzentration von Aminosäuren und nicht die intramuskuläre Verfügbarkeit maßgeblich für die Steigerung der Proteinsynthese (Bohe, Low, Wolfe, & Rennie, 2003).

Eine Supplementierung von Aminosäuren zeitnah vor oder nach einem Krafttraining führt zu einer gesteigerten Proteinsynthese und zu einer Verminderung des durch den Trainingsreiz bedingten Proteinkatabolismus (Tipton et al., 2001). Die gesteigerte Proteinsynthese ist hierbei der Hauptgrund für eine positive Veränderung des Verhältnisses von Proteinsynthese zu Proteinkatabolismus. Die folgende Grafik verdeutlicht den Zusammenhang von Proteinmetabolismus und Aminosäurenverfügbarkeit (vgl. Abbildung 13):

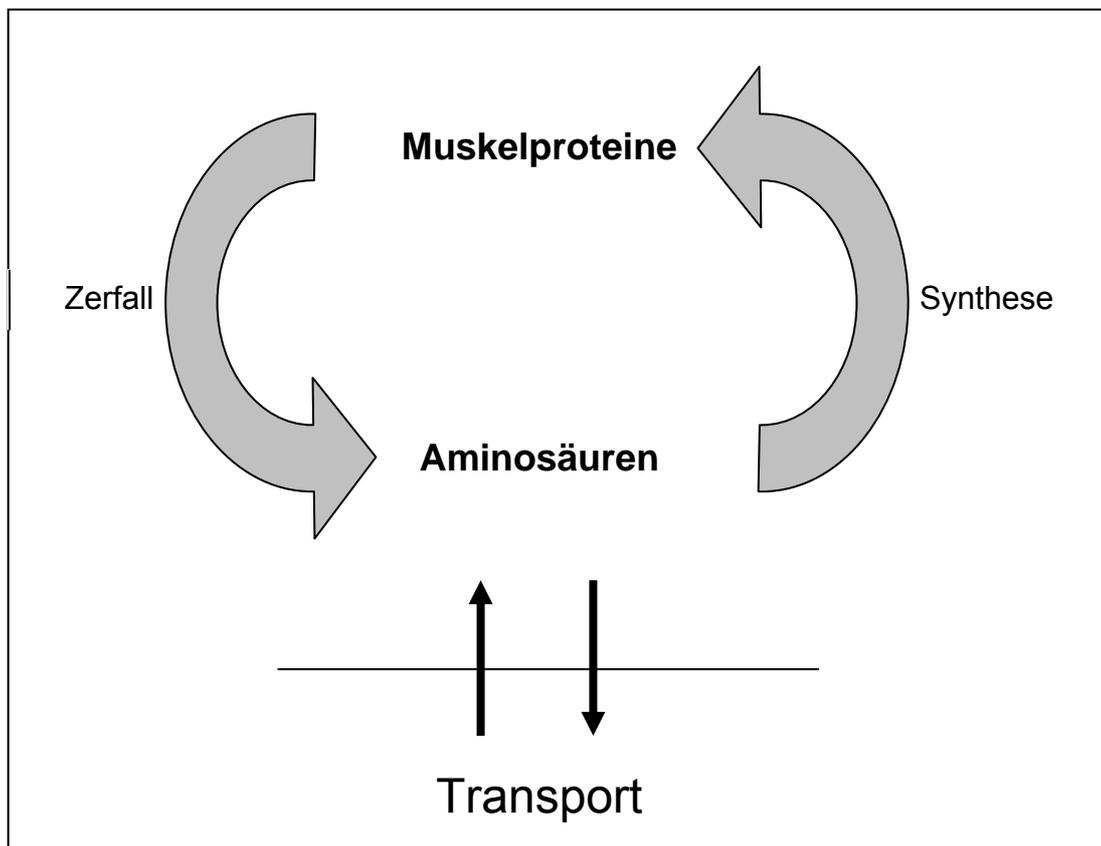


Abbildung 13: Schema des Verhältnisses von Aminosäurenverfügbarkeit und Proteinmetabolismus. Die zur Proteinsynthese notwendigen Aminosäuren werden aus dem Blutstrom, oder durch zerfallene Muskelproteine gewonnen. Allerdings können von den Muskelfasern auch Aminosäuren zurück in den Blutstrom gelangen (nach Houston, 1999, S. 310)

Praxisrelevanz

Der Muskelquerschnitt ist der bedeutendste Faktor für die Kraftentwicklung eines Muskels (vgl. Tesch, 1998, S. 17). Daher ist ein Hauptziel der meisten Krafttrainingsprogramme eine Vergrößerung des Muskelquerschnitts bestimmter Muskeln bzw. Muskelgruppen. Auch in der Prävention bzw. Rehabilitation ist der Erhalt, bzw. der Wiederaufbau der Muskulatur von Bedeutung. Eine wachsende Anzahl von Studien unterstreichen die Wichtigkeit der Verfügbarkeit von Aminosäuren für die Muskelhypertrophie. Besonders deutlich wird die Bedeutung in einer Untersuchung von Esmarck et al. (2001). In dieser Studie wurde die Relevanz des Zeitpunktes der Protein Supplementierung⁸⁸ an 13 älteren Probanden (Alter 74 ± 1 Jahr) untersucht. Die Probanden wurden auf zwei Gruppen (P0 \rightarrow N=7 und P2 \rightarrow N=6) aufgeteilt. Die Gruppe P0 erhielt das Proteinsupplement unmittelbar nach dem Krafttraining, die Gruppe P2 erhielt das Proteinsupplement 2 Stunden nach dem Krafttraining. Alle Probanden absolvierten ein 12-wöchiges Krafttraining. Es wurden unter anderem die Parameter Muskelquerschnitt⁸⁹ des Oberschenkels und Muskelfaserquerschnitt von Fasern des M. vastus lateralis⁹⁰ bestimmt. Der Zeitpunkt der Supplementierung war von entscheidender Bedeutung für die Muskelhypertrophie bzw. für die Muskelfaserhypertrophie. Die Gruppe P0 erzielte sowohl für den Muskelquerschnitt als auch für den Muskelfaserquerschnitt nach der 12-wöchigen Trainingsphase signifikante Kraftverbesserungen. Die Gruppe P2 erzielt keine signifikanten Verbesserungen dieser Parameter. Die Autoren erklären diesen Unterschied mit der Bedeutung der ersten 2 Stunden nach einem Krafttraining:

Altogether, our findings suggest that the first 2 h of recovery after resistance exercise are important for the net protein synthesis during a strength-training program evaluated over a period of time, and to optimise the protein synthesis the intramuscular concentration of free

⁸⁸ Das Supplement bestand aus 10 g Protein, 7 g Kohlenhydraten und 3 g Fett. Es wurde in flüssiger Form verabreicht.

⁸⁹ Der Muskelquerschnitt wurde mittels Magnetresonanztomographie ermittelt.

⁹⁰ Es wurde eine Biopsie unter lokaler Anästhesie durchgeführt.

amino acids is critical if it is not to be a limiting factor.
(Esmarck et al., 2001, S. 309)

Die exakten Ursachen für die Veränderungen des Proteinmetabolismus sind weiterhin ungeklärt (Tipton & Wolfe, 1998, S. 382). Allerdings weisen immer mehr Studien darauf hin, dass nicht nur der reine Spannungsreiz entscheidend für eine Veränderung des Proteinmetabolismus ist. Faktoren wie die Veränderung des Blutstroms, die Anhäufung von Metaboliten oder die Verfügbarkeit von Aminosäuren haben ebenfalls bedeutenden Einfluss auf den Proteinmetabolismus (Fleck & Kraemer, 2004; Fowles et al., 2000; Takarada et al., 2002).

Muskelfaserstruktur

Ein Krafttraining führt nicht nur zu einer quantitativen Änderung des trainierten Muskels, sondern ebenfalls zu einer qualitativen Änderung der Muskelfaserstruktur. Bevor allerdings die qualitative Veränderung von Muskelfasern besprochen werden kann, wird im Folgenden die unterschiedliche Klassifizierung der Skelettmuskulatur dargestellt.

Aufbau von Skelettmuskelfasern

Die Klassifizierung von Skelettmuskelfasern kann an Hand unterschiedlicher Systeme erfolgen (Fink & Costill, 1995, S. 147; Fleck & Kraemer, 2004, S. 69). Fleck und Kraemer (2004, S. 69) unterscheiden vier Klassifizierungssysteme (s. Tabelle 12).

Tabelle 11: Die wichtigsten Klassifizierungssysteme der primären Skelettmuskelfasertypen (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 69)

Klassifizierungssystem	Theoretische Basis
Rote und weiße Fasern	Optische Beobachtung der Muskelfaserfärbung. Je höher der Myoglobingehalt, desto röter bzw. dunkler erscheint die Faser.
Langsam zuckend (slow twitch – ST) und schnell zuckend (fast twitch – FT)	Geschwindigkeit der Muskelzuckung bei Stimulation. Schnell zuckende Muskelfasern haben einen steileren und größeren Kraftanstieg, ermüden dafür allerdings schneller.
Langsam oxidativ, schnell oxidativ/glykolytisch, glykolytisch,	Basierend auf metabolischer Einfärbung und den Eigenschaften der oxidativen und glykolytischen Enzyme.
Typ I und Typ II	Färbung der Muskelfasern in unterschiedlichen pH-Milieus. Hierdurch können verschiedene ATPase-Formen der Fasern unterschieden werden. Diese unterschiedlichen ATPase-Formen besitzen differierende enzymatische Reaktionsgeschwindigkeiten und bestimmen somit die mögliche Geschwindigkeit des Querbrücken-Zyklus. ⁹¹

Die folgende Tabelle beschreibt die Kontraktionseigenschaften, Ermüdbarkeit und Stoffwechseleigenschaften der menschlichen Skelettmuskeln-

⁹¹ Vgl. de Marrés (2002, S. 31).

fasertypen. Der Fasertyp IID wird in amerikanischen Arbeitsgruppen auch als Typ IIX bezeichnet.

Tabelle 12: Eigenschaften der menschlichen Skelettmuskelfasertypen
(nach Steinacker et al., 2002, S. 355)

	Typ I	Typ IIA	Typ IID (IIX)
Kontraktionstyp	langsam	schnell	schnell
Ermüdbarkeit	niedrig	mittel	hoch
Blutfluss	hoch	hoch	niedrig
ATPase Aktivität	niedrig	mittel	hoch
Spiegel energiereicher Phosphate	niedrig	mittel	hoch
Glykolytische Kapazität	niedrig	mittel	hoch
Oxidative Kapazität	hoch	hoch	mittel
Fettstoffwechsel	hoch	mittel	niedrig

Es existieren noch andere Einteilungen der menschlichen Skelettmuskelfasern. Zum Beispiel teilt de Marrés (2002, S. 177) Skelettmuskelfasern in Typ I, Typ IIC, Typ IIA und Typ IIB ein. Hierbei beschreibt der Fasertyp I die "langsamste" Muskelfaser und der Fasertyp IIB die "schnellste" Muskelfaser. Der Autor weist allerdings darauf hin, dass der Fasertyp IIB nur bei bestimmten Tierarten, wie z. Bsp. Maus und Ratte gefunden wird, jedoch nicht beim Menschen (vgl. Pette, 1999, S. 263). Dennoch wird die Bezeichnung IIB zur Beschreibung des schnellsten Muskelfasertyps auch in Biopsiestudien am Menschen nach wie vor genutzt (vgl. Campos et al., 2002; Staron et al., 1994).

Die Einteilung von Steinacker (2002, S. 355) bezieht sich auf Muskelfasertypen, die nur eine Isoform von schweren Myosinketten (MHC⁹²) enthalten. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind 11 MHC-Isoformen bekannt, von denen die Typen MHC1 β , MHCIIa, MHCIIc in großen Teilen der Skelettmuskulatur enthalten sind. Beinhaltet eine Muskelfaser mehr als eine Isoform von Myosinketten, so wird diese als Hybridfaser oder Übergangsfaser bezeichnet (Pette & Staron, 2001, S. 360; Steinacker et al., 2002, S. 356). Pette und Staron (2001, S. 360) geben in ihrer Arbeit eine Anzahl dieser Subtypen an:

⁹² MHC: Myosin Heavy Chain → schwere Myosinkette.

- Typ I/IIA (wird auch als IC bezeichnet) →MHC1 β >MHCIIa
- Typ IIA/I (wird auch als IIC bezeichnet) →MHCIIa>MHC1 β
- Typ IIAD →MHCIIa>MHCIIId
- Typ IIDA →MHCIIId>MHCIIa
- Typ IIDB →MHCIIId>MHCIIb
- Typ IIBD →MHCIIb>MHCIIId

In dieser Aufzählung wird jeweils die Bezeichnung des Muskelfaser Subtypus auf der linken Seite benannt, auf der rechten Seite wird jeweils der Hauptanteil der MHC-Isoform angegeben. Hierbei ist zu beachten, dass die Subtypen IIDB und IIBD beim Menschen nicht vorkommen.

Trainingsinduzierte Veränderungen der Fasertypen

Veränderungen der Fasertypen können durch eine Vielzahl von Faktoren ausgelöst werden. Pette und Staron (2001, S. 359) erwähnen Innervation bzw. neuromuskuläre Aktivität, Training, mechanische Belastungen und Entlastungen, Hormone und das Altern.

Krafttraining führt zu einer Transformation des Faserspektrums, bei der schnelle und/oder gemischte Muskelfasern zu langsameren Muskelfasertypen umgewandelt werden (Tidow, 1999, S. 71)

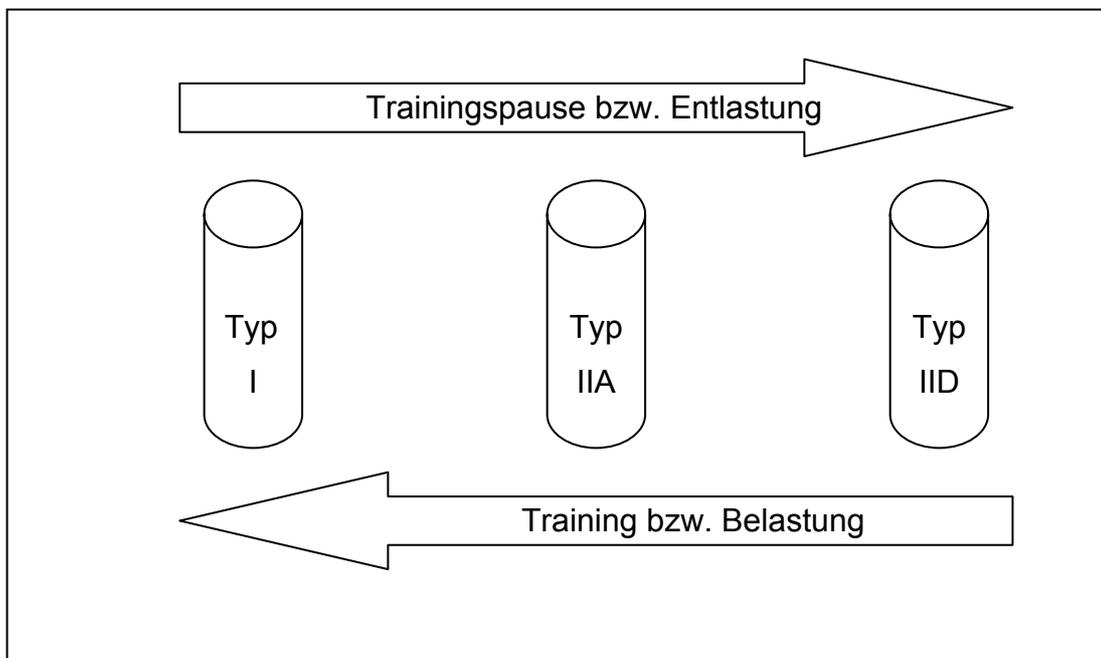


Abbildung 14: Transformation von Muskelfasertypen (nach Steinacker et al., 2002, S. 355)

Die Transformation der Muskelfasertypen erfolgt innerhalb sehr kurzer Zeiträume. Staron et al. (1994) führten eine Untersuchung durch, bei der 33 krafttrainingsunerfahrene Probanden (20 männliche und 13 weibliche Probanden) über ein Zeitraum von acht Wochen ein dynamisches Krafttraining (Kniebeuge, Beinpresse und Beinstrecken) absolvierten. Es wurden Veränderungen der dynamischen Maximalkraft, der Muskelfasertypen, des Muskelfaserquerschnitts, des Gehalts der Muskelfasern an schweren Myosinketten getestet. Zusätzlich wurden Blutproben auf den Gehalt an Testosteron, Cortisol und Wachstumshormon untersucht. Nach zwei Wochen Krafttraining wurde bei den weiblichen Probanden eine signifikante Reduktion des prozentualen Anteils an IIB Muskelfasern festgestellt. Bei den männlichen Probanden war eine signifikante Reduktion der IIB Muskelfasern nach vier Wochen feststellbar. Insgesamt verringerte sich der prozentuale Anteil an IIB Fasern bei Frauen und Männern von 21% auf 7% nach acht Wochen.

In einer längeren Studie konnten Staron et. al (1991) fast eine vollständige Reduktion der IIB Fasern feststellen. In dieser Studie trainierten Frauen mit und ohne Trainingserfahrung über einen Zeitraum von 20 Wochen, dann folgte eine trainingsfreie Zeit von 32 Wochen. Es schloss sich eine weitere Trainingsphase von sechs Wochen an. Der prozentuale Anteil von IIB Fasern verringerte sich bei den Frauen mit Trainingserfahrung von 16% auf 0,9%. Allerdings kam es in der trainingsfreien Zeit zu einer Rücktransformation, bei der der ursprüngliche prozentuale Gehalt an Typ IIB Fasern sogar übertroffen wurde (24,2%).

Interessant ist hierbei auch, dass es in der trainingsfreien Zeit zwar zu einer Rücktransformation der Muskelfasertypen kommt, allerdings wird die in der ersten Trainingsphase aufgebaute Vergrößerung des Muskelfaserquerschnitts nur unvollständig abgebaut. Zudem erfolgt in der zweiten Trainingsphase eine schnellere Transformation der Muskelfasertypen. Fleck und Kraemer (2004) sehen dies als Bestätigung der Existenz eines "Muskelgedächtnisses": "Thus, the concept used by athletes and coaches of "muscle memory" has some validity in the retraining of an individual after a period of detraining" (S. 89).

Trainingsinduzierte Veränderungen von Fiederungswinkeln

Ein Krafttraining kann bei gefiederten Muskeln (z. Bsp. M. quadrizeps femoris) zu einer Vergrößerung des Winkels zwischen der Wirkungsrichtung des Muskels und der Längsachse der Fasern, dem Fiederungswinkel, führen (vgl. Aagaard, 2003; Aagaard et al., 2001; Kanehisa et al., 2002; Kawakami et al., 1993).

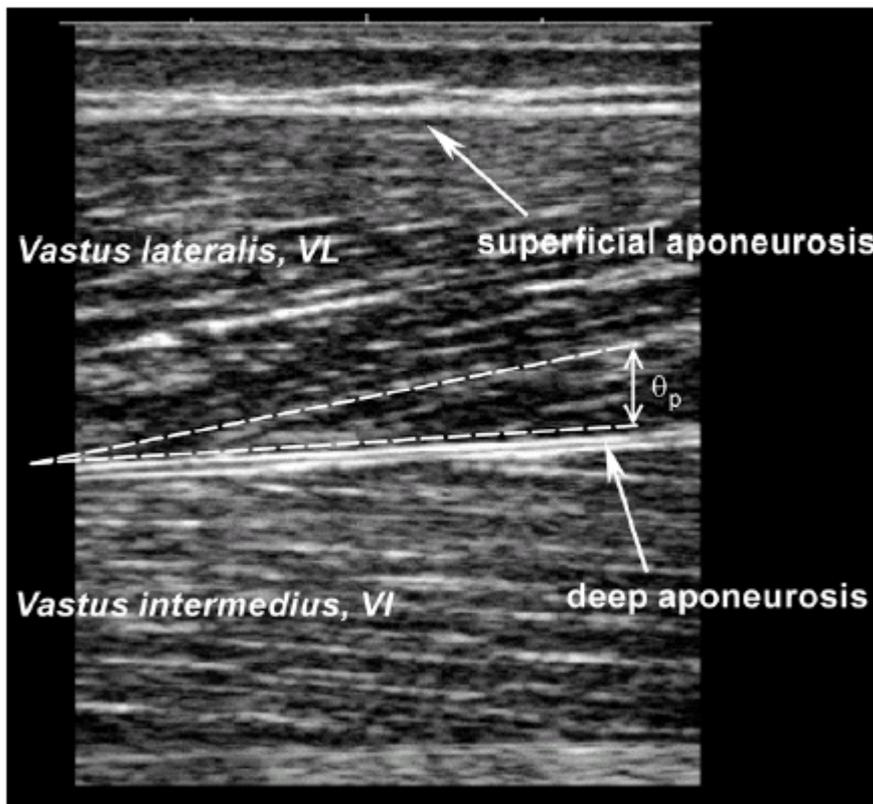


Abbildung 15: Sagittales Ultraschallbild des M. quadrizeps femoris (50% Femurlänge). Der Fiederungswinkel des M. vastus lateralis, VL (θ_p) wurde definiert als der Winkel zwischen den Faszen der Muskelfasern des M. vastus lateralis und der tiefen Aponeurose zwischen dem M. vastus lateralis und dem M. vastus intermedius (Aagaard et al., 2001, S. 615)

Kawakami et al. (1993) verglichen in ihrer Arbeit die Muskeldicke und den Fiederungswinkel des M. trizeps brachii von normalen Personen und Bodybuildern (vgl. auch S. 53). Die Autoren fanden signifikant größere Muskeldicken und Fiederungswinkeln des M. trizeps brachii bei Bodybuildern gegenüber untrainierten Normalpersonen ($p < 0,01$). Es bestanden signifikante ($p < 0,01$) Korrelationen zwischen Muskeldicke und Fiederungswinkel des langen ($r = 0,844$) und medialen Kopfes ($r = 0,833$) des M. trizeps brachii. Zudem stellten Kawakami et al. (1993) einen gekrümmten Verlauf der Muskelfasern bei den Bodybuildern fest. Der steilere Ansatzwinkel der Muskelfasern

an der Sehne führt zwar biomechanisch betrachtet zu einer schlechteren Kraftentwicklung des Muskels, doch er erlaubt ebenfalls eine Vergrößerung des kontraktiven Materials, welches an einer größeren Fläche an der Sehne ansetzen kann (vgl. Kawakami et al., 1993, S. 2743). In der Summe kommt es zu einer Kraftsteigerung des Muskels durch eine Vergrößerung des physiologischen Muskelquerschnitts.

Aagaard et al. (2001) untersuchten in ihrer Arbeit die Auswirkungen eines 14-wöchigen Krafttrainings auf die Muskelarchitektur des M. quadrizeps femoris (vgl. auch S. 71). Ultraschallmessungen ergaben eine signifikante ($p < 0,001$) Vergrößerung des Fiederungswinkels des M. vastus lateralis (vgl. auch Abbildung 15) von $8,0 (\pm 0,4)$ auf $10,7 (\pm 10,7)$ ⁹³. Dies entsprach einer relativen Vergrößerung des Fiederungswinkels von $35,3\% (\pm 8,3\%)$. Eine Korrelationsanalyse der Pre-Test-Werte ergab einen signifikanten ($p < 0,05$) Zusammenhang mittlerer Stärke von $r = 0,622$ zwischen Fiederungswinkel und Quadrizepsvolumen⁹⁴. Aagaard et al. (2001) kommen zu der Schlussfolgerung: "Collectively, the present data suggest that the morphology, architecture and contractile capacity of human pennate muscle are interrelated. This interaction seems to include the specific adaptation responses evoked by intensive resistance training" (S. 621).

3.6.3 Neutrales System

Das zentrale motorische System ist hierarchisch gegliedert (Noth, 1994b). Das Endglied dieses Systems ist die motorische Einheit. Als motorische Einheit bezeichnet man laut de Marées (2002, S. 49) "...eine motorische Nervenzelle mit ihrer efferent leitenden langen Nervenfasern und dem von ihr versorgten Kollektiv von Muskelfasern." Die folgende Darstellung verdeutlicht den Aufbau einer motorischen Einheit (vgl. Abbildung 16):

⁹³ Die Messungen wurden bei 50% der Femurlänge durchgeführt.

⁹⁴ Das Volumen des M. quadrizeps femoris wurde mittels MRT ermittelt.

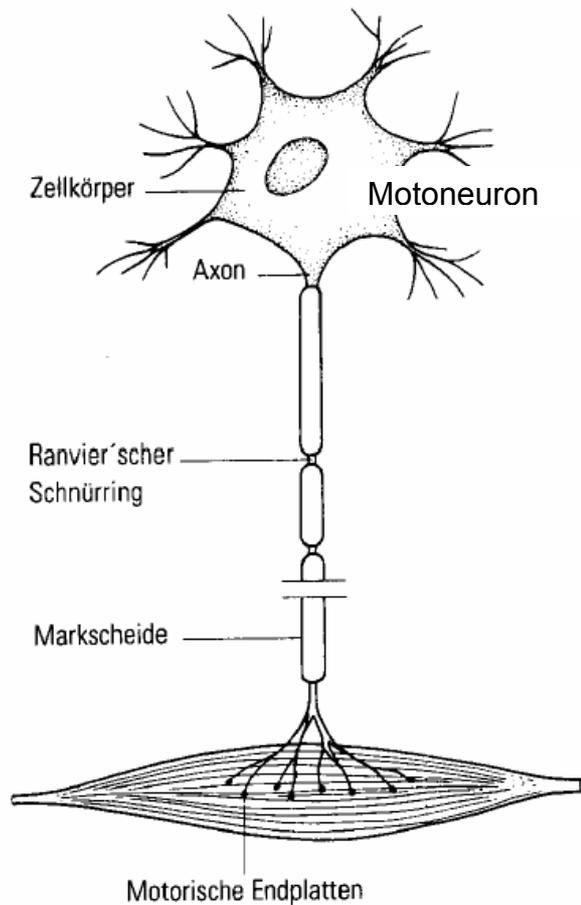


Abbildung 16: Schematische Darstellung einer motorischen Einheit (nach Noth, 1994a, S. 33)

Die Nervenzelle (Axon) befindet sich im Hirnstamm oder im Rückenmark und verläuft von dort über ihren peripheren Nerv bis zu den von ihr versorgten Muskelfasern. Je nach feinmotorischem Anforderungsprofil variiert die Anzahl der zugehörigen Muskelfasern zwischen 5-10 und mehr als 1000 (vgl. Noth, 1994a, S. 33). Muskeln, die ein hohes feinmotorisches Anforderungsprofil haben (wie zum Beispiel die äußeren Augenmuskeln), besitzen weniger als 10 Muskelfasern pro motorischer Einheit. Im M. gastrocnemius, der weniger feinmotorisch arbeitet, kann eine motorische Einheit 1000 Muskelfasern beinhalten (Fleck & Kraemer, 2004, S. 54).

Die Größe der Motoneuronen variieren je nach Muskelfasertyp, den sie innervieren. Schnelle Muskelfasern (Typ IIA bzw. IID) werden durch große Motoneurone mit einer hohen Reizschwelle innerviert. Langsame Muskelfasern (Typ I) werden von kleineren Motoneuronen mit einer niedrigeren Reizschwelle innerviert (Noth, 1994a, S. 38). Die Innervation der Muskelfa-

sen folgt dem "Alles-oder-Nichts-Prinzip" (Hohmann et al., 2002, S. 71). Es werden entweder alle Muskelfasern einer motorischen Einheit aktiviert, oder es wird keine Muskelfaser dieser motorischen Einheit aktiviert.

Der Mensch ist bei einer willkürlichen maximalen Kontraktion nicht in der Lage, alle motorischen Einheiten eines Muskels gleichzeitig zu aktivieren. Ein untrainierter Mensch kann nur ca. 70% seines maximalen Kraftwertes, der absoluten maximalen Kraft⁹⁵, erreichen. Ein trainierter Mensch kann bis zu 95% der Absolutkraft erreichen (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227; Hollmann et al., 2000, S. 162). Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 227) bezeichnen die Möglichkeit, einen möglichst großen Anteil der motorischen Einheiten zu aktivieren, als "neuromuskuläre Aktivierungsfähigkeit". Hohmann et al. (2002, S. 75) fassen unter dem Begriff der "willkürlichen Aktivierungsfähigkeit" die intramuskuläre und intermuskuläre Koordination zusammen.

Ein Krafttraining führt initial zu Kraftverbesserungen, die hauptsächlich auf Verbesserungen der willkürlichen Aktivierungsfähigkeit und somit der intermuskulären Koordination und/oder der intramuskulären Koordination beruhen (vgl. Aagaard, 2003; Fleck & Kraemer, 2004, S. 64-68; Häkkinen, 2002). Die intermuskuläre Koordination beschreibt das Zusammenwirken von agonistischen bzw. synergistischen Muskeln sowie antagonistisch wirkenden Muskeln (Hohmann et al., 2002, S. 76). Die intramuskuläre Koordination bezieht sich auf die Aktivierung von Muskelfasern (Zatsiorsky, 1996, S. 96) und besteht aus der **Rekrutierung**, der **Frequenzierung** und der **Synchronisation**.

Rekrutierung

Bei einer willkürlichen Muskelkontraktion werden nicht alle Fasern eines Muskels aktiviert. Die Anzahl der aktivierten Muskelfasern wird durch die Rekrutierungsfähigkeit des Menschen bestimmt. De Marées (2002, S. 182)

⁹⁵ Hollmann, Hettinger, & Strüder (2000) definieren die absolute maximale Kraft (physiologische Grenzkraft, Absolutkraft) als "die bei einer unwillkürlichen maximalen statischen Muskelbeanspruchung aufwendbare Kraft". Der Einsatz der »absoluten Maximalkraft« ist durch den Willen des Individuums allein nicht möglich; es muß zusätzlich eine Stresssituation (Schreck usw.) oder Hypnose bzw. ein Pharmakaeinsatz (Doping) erfolgen" (S. 162).

definiert den Begriff der Rekrutierung als "die Zahl der in Aktion tretenden motorischen Einheiten".

Bei einer willkürlichen Kontraktion erfolgt die Aktivierung nach dem Henneman'schen Größenordnungsprinzip⁹⁶ (Henneman, Somjen, & Carpenter, 1965). Es werden zuerst die kleinsten motorischen Einheiten mit einer niedrigen Rekrutierungsschwelle aktiviert. Bei wachsenden Kraftanforderungen werden immer größere motorische Einheiten einbezogen. Die Rekrutierung der motorischen Einheiten erfolgt proportional zur Kraftentwicklung. Bei 50% der Maximalkraft werden 80% der motorischen Einheiten rekrutiert. Nur bei über 90% der Maximalkraft werden die größten motorischen Einheiten aktiviert (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227; Sale, 1994, S. 250). Tidow und Wiemann (1993, S. 98) weisen allerdings auf den großen Einfluss der Faserverteilung hin. Zum Beispiel sind bei Muskeln, die zum großen Teil aus langsamen Typ I Muskelfasern bestehen⁹⁷, bereits bei 50% der Maximalkraft alle willkürlich aktivierbaren motorischen Einheiten aktiv, und eine weitere Kraftsteigerung ist nur noch über die Frequenzierung möglich (Tidow & Wiemann, 1993, S. 98).

Bei maximal explosiven Krafteinsätzen ist auf Grund der höheren Nervenleitgeschwindigkeit⁹⁸ der großen motorischen Einheiten das Größenordnungsprinzip für die Kontraktion nicht mehr von Bedeutung. Tidow und Wiemann (1993) fassen dieses in ihrer Arbeit zusammen:

⁹⁶ Dieses Größenordnungsprinzip wird auch als "size principle" bezeichnet (Antonio, 2000, S. 103; Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 227).

⁹⁷ Zum Beispiel der M. adductor pollicis.

⁹⁸ Tidow und Wiemann geben die Nervenleitgeschwindigkeiten der unterschiedlichen Fasertypen an: Typ I=ca. 2,5 m/s; Typ II c/a=3 - 5 m/s; Typ IIb=ca. 5,5 m/s (Tidow & Wiemann, 1993, S. 94).

Das Größenprinzip der Rekrutierung als relativ grobes Kraftregulativ, demzufolge die langsameren Typ I-ME immer zuerst einbezogen werden, was bei den schnellsten Kontraktionen (gegen geringe Widerstände) ein Eingreifen der höherrangigen und schnelleren Typ II-ME verhindern würde, verliert dann seine muskelmechanische Gültigkeit, wenn eine maximal schnelle Aktivierung des kontraktiven Potentials ohne submaximale Dosierungsvorgabe gefordert ist.

(S. 103)

Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., 3rd und Prior, B. M (1996) untersuchten die Auswirkungen eines 10-wöchigen konzentrischen und exzentrischen Krafttrainings auf Muskelkraft, Muskelquerschnitt und neuronale Aktivierung des rechten M. quadrizeps femoris⁹⁹. Vor und nach der Trainingsphase wurde, unter anderem, die elektrische Aktivität des M. vastus medialis und M. vastus lateralis mittels eines 2-Kanal-EMGs abgeleitet. Die Autoren stellten für die beiden Trainingsgruppen signifikante Erhöhungen der elektrischen Aktivität der summierten Werte der beiden abgeleiteten Muskeln fest¹⁰⁰ und kommen zu der Schlussfolgerung:

The positive relationships between increased maximal iEMG and increased strength after Ecc and Con training, when strength was measured during the same muscle action as that used in training, suggest that increased recruitment and/or frequency of stimulation of motor units occurred at the posttest after Con and Ecc training.

(Higbie et al., 1996, S. 2179)

⁹⁹ 60 Frauen wurden randomisiert auf zwei Trainingsgruppen (konzentrisch/exzentrisch) und eine Kontrollgruppe verteilt und trainierten drei Mal pro Woche an einem isokinetischen Beinstreckgerät (Kin-Com Dynamometer, Model 500H, Chattex). Die Probandinnen führten in jeder Trainingseinheit 3 Sätze a 10 Wiederholungen bis zur subjektiven Erschöpfung aus (RM). Die Pausenlänge zwischen den Sätzen betrug 3 Minuten.

¹⁰⁰ Bei den exzentrischen Krafttests erreichten beide Trainingsgruppen signifikante ($p < 0,05$) Erhöhungen ihrer elektrischen Aktivität vom Pre- zum Post-Test. Bei den konzentrischen Krafttests erreichte nur die Gruppe, die auch konzentrisch trainiert hatte, eine signifikante Erhöhung der gemessenen elektrischen Aktivität der abgeleiteten Muskeln.

Frequenzierung

Die Frequenz der die motorischen Einheiten aktivierenden Nervenimpulse wird als Frequenzierung definiert (de Marées, 2002, S. 182). Die Frequenzierung ermöglicht ebenso wie die Rekrutierung eine Abstufung der Muskelkraft. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Entladungsfrequenz der Motoneurone, der Maximalkraft und der Rekrutierung (vgl. Abbildung 17):

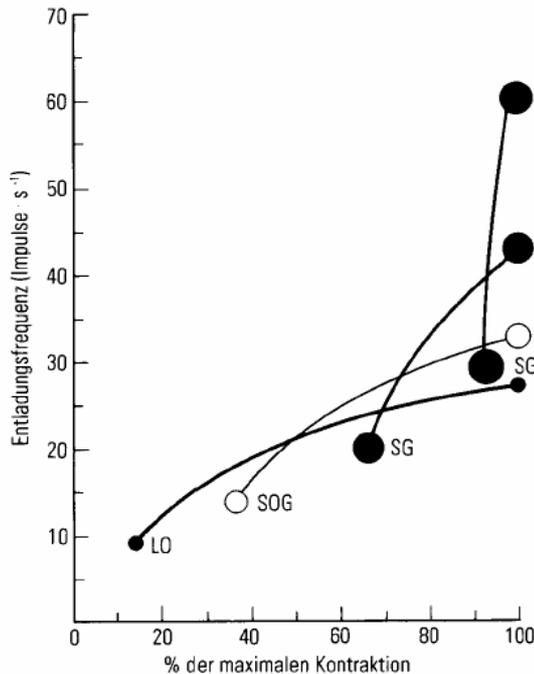


Abbildung 17: Die Bedeutung der Frequenzierung für das Größenordnungsprinzip. LO=langsame motorische Einheiten; SOG=schnelle oxidative glykolytische motorische Einheiten; SG=schnelle glykolytische motorische Einheiten. Es werden vier unterschiedliche motorische Einheiten repräsentativ für das gesamte Faserspektrum eines Muskels dargestellt (nach Sale, 1994, S. 250)

In der Abbildung 18 wird deutlich, dass bei niedrigen Frequenzen zuerst die langsamen oxidativen Fasern (Typ I) aktiviert werden. Die größten motorischen Einheiten werden erst dann aktiviert, wenn über 90% der Maximalkraft abgerufen werden. Eine Frequenz von mehr als ca. 50 Hz bewirkt jedoch keine wesentlichen Kraftsteigerungen, sondern einen steileren Kraftanstieg.

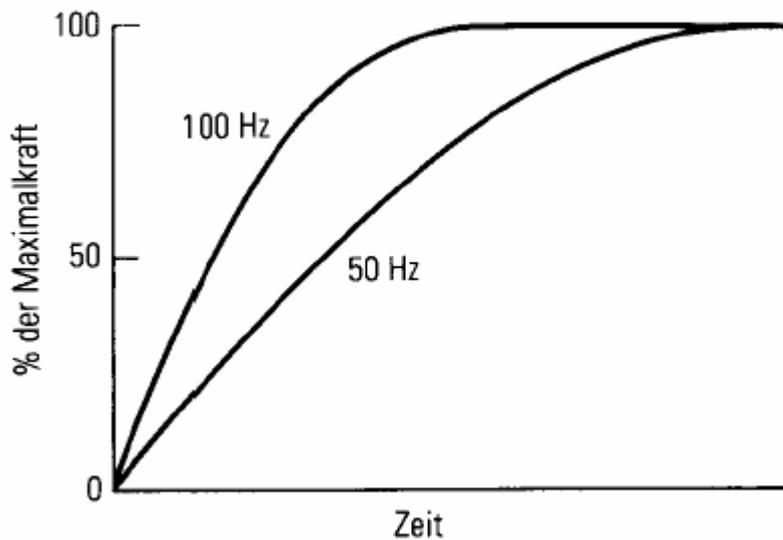


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Innervationsfrequenz und Kraftanstieg (nach Sale, 1994, S. 255)

Synchronisation

Der dritte Faktor neben der Rekrutierung und der Frequenzierung ist die synchrone Aktivierung von Motoneuronen bei einer spezifischen Bewegung (vgl. auch Enoka, 1988, S. 152-153; Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 228). Semmler (2002) definiert in seinem Übersichtsartikel die Synchronisation motorischer Einheiten wie folgt: "Motor unit synchronization is a measure of the correlated discharge of action potentials by motor units and is quantified by both time- and frequency-domain analyses from pairs of motor units" (S. 13).

Milner-Brown, Stein, und Lee (1975) stellten nach einem sechswöchigen Krafttraining eine Verbesserung der Synchronisation der motorischen Einheiten fest. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass die verbesserte Synchronisation auf eine Steigerung der efferenten Reize vom Motorkortex und vom Cerebellum zurückzuführen ist. Eine Verbesserung der Synchronisation der motorischen Einheiten führt nicht direkt zu einer Steigerung der Maximalkraft (Yao, Fuglevand, & Enoka, 2000, S. 445). Allerdings könnte eine verbesserte Synchronisation für explosive Kraftentwicklungen von Bedeutung sein:

The acute and chronic plasticity of motor unit synchronization suggests that it must represent a deliberate strategy for neuromuscular activation. Although increased motor unit synchronization contributes to larger force fluctuations, the most likely functional role of motor unit synchronization is to increase the rate of force development during rapid contractions or as a mechanism to coordinate the activity of multiple muscles to promote skilled muscle synergies.

(Semmler, 2002, S. 13)

3.6.4 Kardiovaskuläres System

Ein Krafttraining führt zu akuten und chronischen Reaktionen des kardiovaskulären Systems (Fleck & Kraemer, 2004; Hollmann et al., 2000; Mayo & Kravitz, 1999). Diese Reaktionen sind sowohl für den präventiven als auch für den rehabilitativen Bereich der Trainingswissenschaft von entscheidender Bedeutung (Urhausen & Kindermann, 2003; Urhausen et al., 2000; Wallace, 2003).

Akute Reaktionen des kardiovaskulären Systems

Ein Krafttraining führt zu einem Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks sowie zu einer Erhöhung der Herzfrequenz (MacDougall, Tuxen, Sale, Moroz, & Sutton, 1985). Dies gilt sowohl für konzentrische, exzentrische, isometrische sowie isokinetische Aktionsformen (Kleiner, Blessing, Davis, & Mitchell, 1996; MacDougall et al., 1992). Die kardiovaskulären Reaktionen auf einen Krafttrainingsreiz unterscheiden sich von den Reaktionen auf einen aeroben Trainingsreiz.

Blutdruck

Kleiner et al. (1996) untersuchten die kardiovaskulären Reaktionen auf einen Fahrradergometer-Stufentest mit den Reaktionen auf jeweils einen Krafttrainingssatz mit einem isokinetischem Trainingsgerät, einem Trainingsgerät mit einem variablem Widerstand¹⁰¹ und einem Trainingsgerät mit einem

¹⁰¹ Hierbei wird der Widerstand über einen Exzenter während der Bewegung verändert (vgl. Fleck & Kraemer, 2004, S. 31).

fixen Widerstand¹⁰². In der folgenden Grafik wird der systolische und diastolische Blutdruck¹⁰³ der Probanden während der durchgeführten Trainingsübung¹⁰⁴ dargestellt (vgl. Abbildung 19):

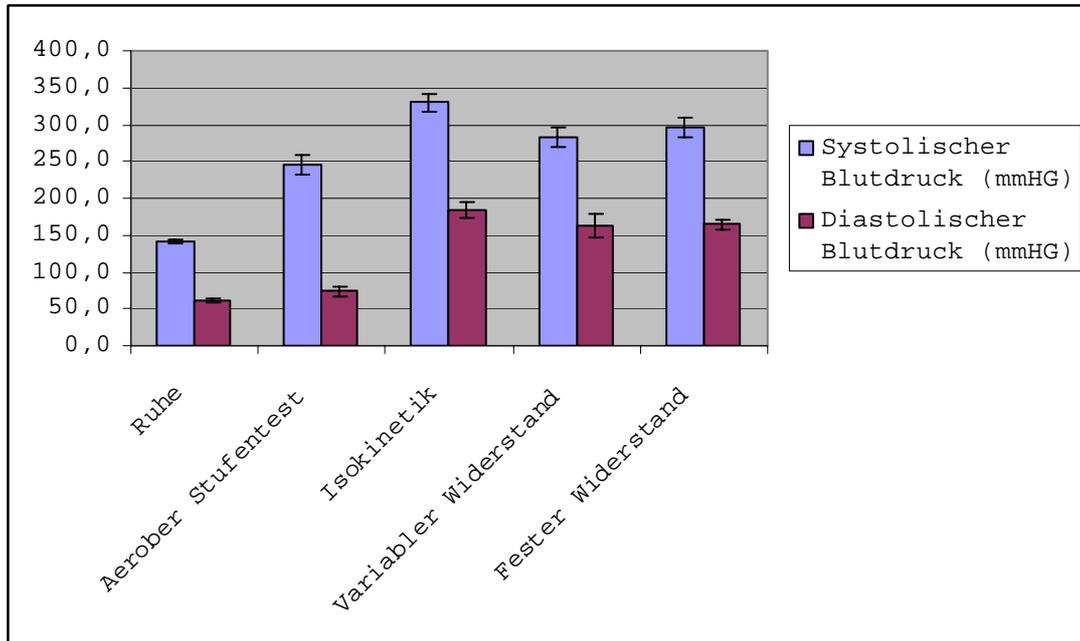


Abbildung 19: Gemittelte Blutdruckwerte, die bei der maximalen Herzfrequenz gemessen wurden (nach Kleiner et al., 1996)

Die Autoren fanden für die dargestellten mittleren systolischen und diastolischen Blutdruckwerte sowie die in der Abbildung 19 nicht dargestellten Herzfrequenzwerte signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen der aeroben Ausdauerbelastung (aerober Stufentest) und den entsprechenden Werten bei den Krafttrainingsbelastungen.

Die in der Untersuchung von Kleiner et al. (1996) ermittelten Blutdruckwerte bestätigen die in einer früheren Studie von MacDougall et al. (1985) gewonnenen Erkenntnisse, dass Krafttraining zu einem extremen Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks führt. MacDougall et al. (1985) ermittelten bei ihrer Untersuchung für die Übung beidbeinige Beinpresse systolische Blutdruckwerte von 320 mmHg und diastolische Blutdruckwerte von 250 mmHg.

¹⁰² Ohne Exzenter.

¹⁰³ Der Blutdruck wurde intra-arteriell in der radialen Arterie der Probanden gemessen.

¹⁰⁴ Als Trainingsübung wurde die einbeinige Beinstreckung durchgeführt.

Die Studie von Gotshall, Gootmann, Byrnes, Fleck und Valovich (1999) ist von besonderem Interesse, da in ihr ein Zusammenhang zwischen der ausgeführten Satzzahl und der Reaktion des Blutdrucks dargestellt wird. Gotshall et al. (1999) untersuchten die Reaktionen des Blutdrucks während eines Krafttrainings. Sieben Probanden führten beidbeinig 3 Sätze an einer Beinpresse mit einem Gewicht durch, welches maximal 10 mal bewältigt werden konnte. Die Blutdruckwerte wurden mit Hilfe des noninvasiven Finaprestm Blutdruckmessgeräts zur kontinuierlichen Blutdruckbestimmung ermittelt. Die Validität dieses Messgeräts wurde in früheren Studien belegt (Imholz, Wieling, van Montfrans, & Wesseling, 1998). Die Autoren maßen maximale systolische Blutdrücke von 238 (± 18) für den ersten Satz, 268 (± 18) für den zweiten Satz und 293 (± 21) mmHg für den dritten Satz. Gotshall et al. (1999) erklären die im Verhältnis zu den intra-arteriell gemessenen Werten von MacDougall et al. (1985) niedrigeren systolischen Blutdruckwerte mit der Vermeidung des Valsalva-Manövers (Pressatmung) in ihrer Studie. Die Steigerung der Blutdruckwerte in Abhängigkeit von der Satzzahl ist für den Bereich des präventiven oder des rehabilitativen Trainings von großer Bedeutung. Die folgende Abbildung stellt die systolischen und diastolischen Blutdruckveränderungen in der Studie von Gotshall et al. (1999) dar (vgl. Abbildung 20):

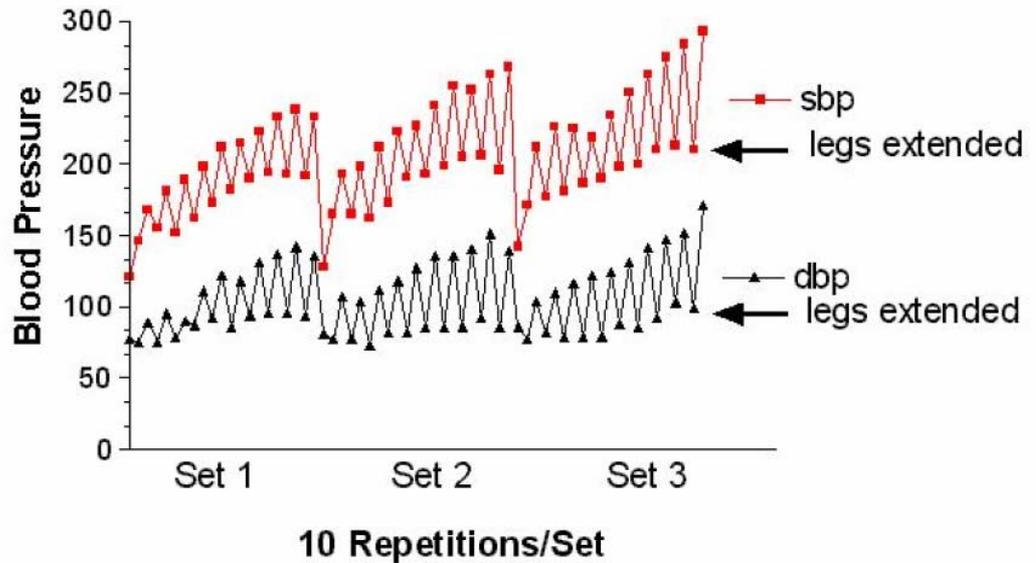


Abbildung 20: Der Verlauf der systolischen und diastolischen Blutdruckveränderungen bei 3 Sätzen eines Trainings mit 10 WDH jeweils bis zur subjektiven Ausbelastung (beidbeinige Beinpresse). Der niedrigste Wert vor den einzelnen Sätzen stellt jeweils den Ruheblutdruckwert dar (Gotshall et al., 1999)

Als Hauptgründe für die in den Studien festgestellten bedeutenden akuten kardiovaskulären Reaktionen werden die mechanische Kompression der Blutgefäße in der Arbeitsmuskulatur, einer damit verbundenen reflektorischen Vasokonstriktion in der nicht beanspruchten Muskulatur sowie eine bei hohen Kraftbelastungen zumeist ausgeführte Pressatmung angesehen (de Marées, 2002, S. 200; Hollmann et al., 2000, S. 55; MacDougall et al., 1985, S. 789).

Herzfrequenz

Ein Krafttraining führt zu einer akuten Steigerung der Herzfrequenz. Während eines Krafttrainings wurden Spitzenwerte von 170 Herzschlägen pro Minute für die Übung Beinpresse bei einem Krafttrainingsatz bis zur subjektiven Erschöpfung mit 95% des EWM gemessen (MacDougall et al., 1985). In dieser Untersuchung war allerdings Pressatmung erlaubt.

Wird eine Pressatmung vermieden, werden geringere Herzfrequenzwerte erreicht. In zwei Studien wurden für die Übung einbeiniges Beinstrecken Spitzenwerte von 135 Herzschlägen pro Minute (Fleck & Dean, 1987) bzw. 156,8 Herzschläge pro Minute ermittelt (Kleiner et al., 1996). Allerdings werden bei aeroben Belastungen wesentlich höhere Herzfrequenzen erreicht. In der schon erwähnten Studie von Kleiner et al. (1996) wurde bei der

aeroben Belastung eine Herzfrequenz von 189,0 Herzschlägen pro Minute erreicht.

Chronische Reaktionen des kardiovaskulären Systems

Im Gegensatz zu den extrem ausgeprägten akuten Reaktionen des kardiovaskulären Systems auf Krafttrainingsreize fallen die chronischen Reaktionen wesentlich moderater aus. Allerdings können schon geringfügige Veränderungen beispielsweise des Blutdrucks von entscheidender Bedeutung für das kardiovaskuläre Risiko sein (Carter, Ray, Downs, & Cooke, 2003; vgl. Kelley & Kelley, 2000).

Maximale Sauerstoffaufnahmekapazität

Der wichtige Parameter der maximalen Sauerstoffaufnahme wird durch ein Krafttraining nicht, bzw. nur in geringem Maße beeinflusst (Gettman, Ayres, Pollock, & Jackson, 1978). Hollmann et al. (2000, S. 199) nennen für führende deutsche Gewichtheber eine maximale Sauerstoffaufnahmekapazität zwischen 39 und 55 ml/kg/min. Fleck und Kraemer (2004, S. 127) beziffern die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität pro Minute von Gewichthebern, Kraftdreikämpfern und Bodybuildern mit 41 – 55 ml/kg/min in einem ähnlichen Bereich.

Gettman und Pollock (1981) nennen in ihrem Übersichtartikel zur Wirksamkeit des Circuit Trainings prozentuale Zuwächse der maximalen Sauerstoffaufnahmekapazität von 5,1% für Männer und 8% für Frauen, die innerhalb eines Zeitraums von 8 – 20 Wochen erreicht werden¹⁰⁵.

Broeder, Burrhus, Svanevik und Wilmore (1992) verglichen in ihrer Studie die Auswirkungen eines hochintensiven Krafttrainings mit denen eines hochintensiven Ausdauertrainings auf den Grundumsatz. Hierbei bestimmten sie, unter anderem, zusätzlich die maximale Sauerstoffaufnahmekapazität vor bzw. nach der 12-wöchigen Trainingsphase. Die Trainingshäufigkeit der Krafttrainings- und auch der Ausdauergruppe betrug vier Trainingseinheiten pro Woche. Die Trainingsdauer betrug ca. 60 Minuten für die

¹⁰⁵ Es wurden zwischen 12 und 15 Wiederholungen mit einem Gewicht von 40 bis 60% des EWMs durchgeführt. Die Pausenlänge zwischen den Übungen betrug zwischen 15 bis 30 Sekunden.

Krafttrainingsgruppe und 40 – 50 Minuten für die Ausdauergruppe¹⁰⁶. Im Gegensatz zur Arbeit von Gettman und Pollock (1981) führte die Krafttrainingsgruppe ein Mehrsatz-Training mit 8-12 WDH bis zur subjektiven Erschöpfung durch. Leider wird in der Studie von Broeder et al. (1992) keine Pausenlänge angegeben. Die Pausenlänge ist ein entscheidender Parameter für die kardiovaskuläre Wirksamkeit einer Krafttrainingsintervention: "Weight training programs intended to increase VO_2 should consist of higher training volumes and use short rest periods between sets and exercises" (Fleck & Kraemer, 2004, S. 128).

Die Ausdauergruppe verbesserte ihre VO_2 max signifikant ($p < 0,05$) um 11,3%. Die Krafttrainingsgruppe verbesserte ihre VO_2 max um 3,3 %. Diese Verbesserungen näherten sich der Signifikanzgrenze von $p < 0,05$ mit $p = 0,06$ an. Die Kontrollgruppe zeigte keine Veränderungen der VO_2 max. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Angaben des Zuwachses der VO_2 max von 4% durch ein Krafttraining, wie sie in der Arbeit von Gettman und Pollock (1981) angegeben werden. Die geringfügig niedrigeren Steigerungen der VO_2 max lassen sich durch die Trainingsmethode des Mehrsatz-Trainings mit längeren Pausen erklären (vgl. Fleck & Kraemer, 2004).

¹⁰⁶ Die Krafttrainingsgruppe trainierte an Nautilus Trainingsmaschinen und freien Gewichten. Die Gruppe führte ein Split-Trainingsprogramm der Oberkörper und Beinmuskulatur durch. Die Ausdauergruppe absolvierte ein Lauf- bzw. Walkingtraining mit einer Intensität von mindestens 70% der VO_2 max. Die Belastung beider Gruppen wurde innerhalb der zwölfwöchigen Trainingsperiode progressiv gesteigert.

Blutdruck

Kelley und Kelley (2000) untersuchten in einer Meta-Analyse randomisierte klinische Studien zu den Auswirkungen eines progressiven Krafttrainings auf den Ruheblutdruck. Insgesamt wurden 11 Studien in die Meta-Analyse einbezogen. Die Autoren stellten für den systolischen und diastolischen Blutdruck geringe Reduktionen von ca. 2% bzw. ca. 4% fest¹⁰⁷. Allerdings verweisen die Autoren darauf, dass derartige geringfügige Reduktionen des Blutdrucks zu einer Verringerung des Herzinfarkt-Risikos bzw. des Risikos von koronaren Herzkrankheiten führen (Kelley & Kelley, 2000, S. 841).

In einer aktuellen Studie stellten Carter et al. (2003) nach einem achtwöchigen Krafttraining¹⁰⁸ signifikante ($p \leq 0,05$) Veränderungen des systolischen und diastolischen Blutdrucks fest: "Resistance training significantly increased one-repetition maximum values in all trained muscle groups ($P < 0.001$), and it significantly decreased systolic (130 ± 3 to 121 ± 2 mmHg; $P = 0.01$), diastolic (69 ± 3 to 61 ± 2 mmHg; $P = 0.04$), and mean (89 ± 2 to 81 ± 2 mmHg; $P = 0.01$) arterial blood pressures at rest" (Carter et al., 2003, S. 2214). Wie schon Kelley und Kelley (2000) verweisen auch Carter et al. (2003) auf den positiven Einfluss selbst geringfügiger Veränderungen des Ruheblutdrucks auf kardiovaskuläre Erkrankungen.

Herzfrequenz

"Die Ruhe-Herzschlagzahl bleibt im Zuge eines Krafttrainings entweder unverändert oder geht geringfügig zurück" (Hollmann et al., 2000, S. 199). Diese Aussage wird in der Studie von Goldberg, Elliot und Kuehl (1994) gestützt. In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen eines Krafttrainings und eines Lauftrainings auf verschiedene kardiovaskuläre Parameter untersucht. Es wurden drei Gruppen gebildet: Eine Krafttrainingsgruppe ($N=13$), eine Laufgruppe ($N=10$) und eine Kontrollgruppe ($N=7$). Die Trainingsgruppen trainierten über einen Zeitraum von 16 Wochen jeweils mit drei Trainingseinheiten pro Woche. Die Ausdauergruppe trainierte mit 85% ihrer maximalen

¹⁰⁷ Die absoluten Veränderungen betragen für den systolischen Wert zwischen -2 und -3 mmHg und für den diastolischen Wert zwischen -2 und -4 mmHg.

¹⁰⁸ Es wurde ein Mehrsatztraining (3 Sätze) mit einer Trainingshäufigkeit von drei Einheiten pro Woche ausgeführt. Das Training wurde an Cybex Krafttrainingsmaschinen mit einer Belastungsintensität absolviert, die pro Satz 10 Wiederholungen erlaubte.

Herzfrequenz mit einer Trainingsdauer von mindestens 45 Minuten¹⁰⁹. Die Krafttrainingsgruppe führte ein Mehrsatz-Training¹¹⁰ durch. Beide Trainingsgruppen erzielten eine signifikante ($p < 0,05$) Reduzierung ihrer Ruhe-Herzschlagzahl von 10% (Krafttraining) und 15,3% (Laufen). Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikanten Veränderungen der Ruhe-Herzschlagzahl.

3.6.5 Endokrines System

Das endokrine System ist sowohl für die akute, als auch für die langfristige Reaktion des Körpers auf einen Krafttrainingsreiz von entscheidender Bedeutung (vgl. Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Hakkinen, 2003b; Goto, Sato, & Takamatsu, 2003; Gotshalk et al., 1997; Häkkinen, Pakarinen, Kauphanen, & Komi, 1988; Kraemer, 1988; Kraemer et al., 1999; Kraemer et al., 2003; Kraemer et al., 1995; Ostrowski et al., 1997; Pitkanen et al., 2002). Die folgende Abbildung verdeutlicht die Reaktion des endokrinen Systems auf einen Krafttrainingsreiz (vgl. Abbildung 21):

¹⁰⁹ Nach einer Eingewöhnungsphase von drei Trainingseinheiten, in denen die Trainingsdauer jeweils 20 Minuten betrug.

¹¹⁰ Acht Übungen an Krafttrainingsmaschinen (Fa. Universal Gym). Drei Sätze mit einer Belastungsintensität, die zwischen drei und acht Wiederholungen erlaubte.

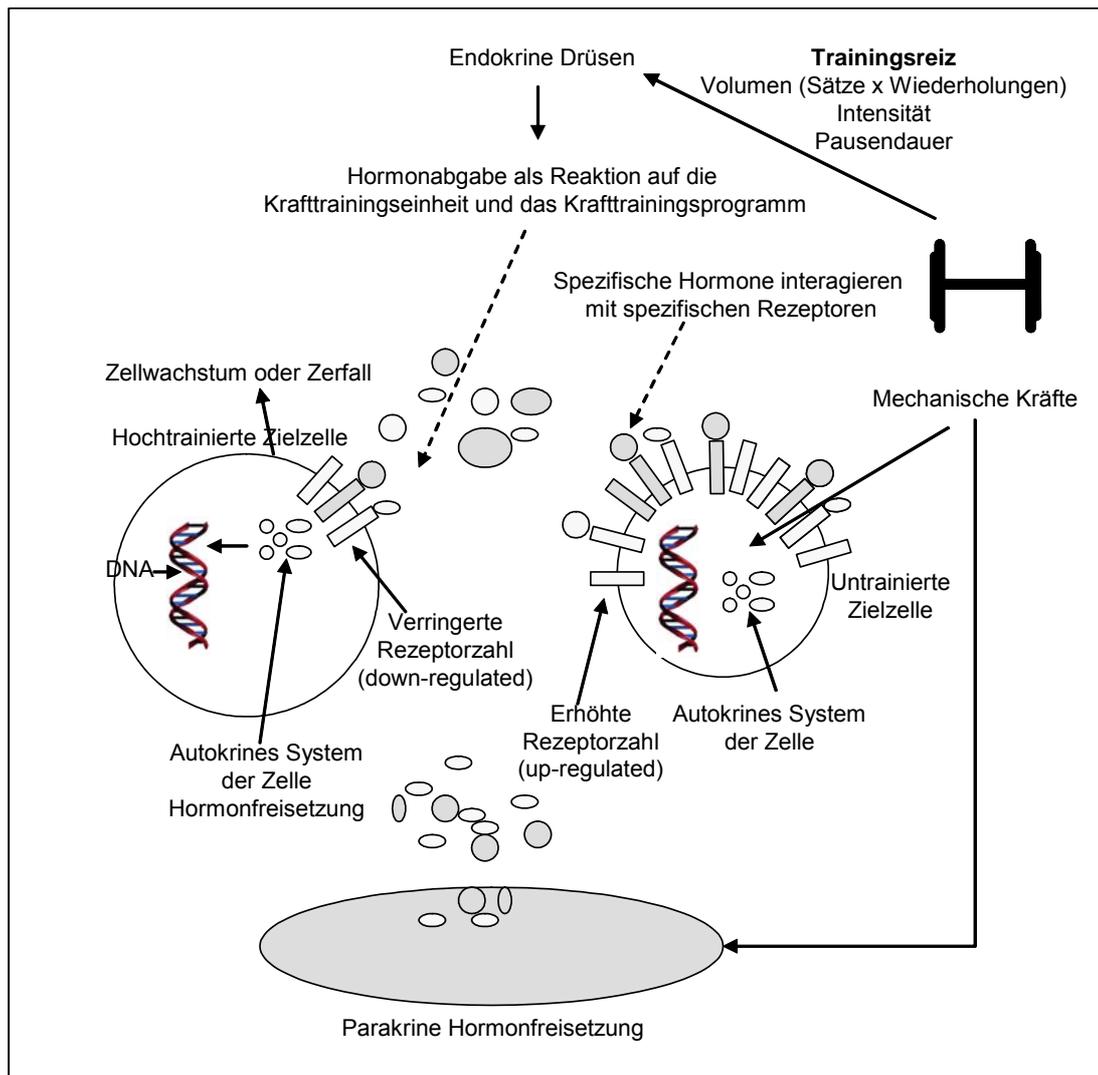


Abbildung 21: Endokrine Interaktionen mit Zellen (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 97)

An Hand ihrer chemischen Struktur lassen sich Hormone drei Gruppen zuordnen:

- **Peptidhormone** (z. Bsp. Wachstumshormon, Insulin) und Glykoprotein-hormone (z. Bsp. Erythropoietin)
- **Steroidhormone** (z. Bsp. Kortisol, Testosteron)
- **Tyrosinderivate** (z. Bsp. Adrenalin, Noradrenalin, Thyroxin)
(de Marées, 2002, S. 92)

Hormone können über verschiedene Wege zur entsprechenden Zielzelle (z. Bsp. einer Muskelzelle) gelangen. Zahlreiche Hormone erreichen ihre Zielzellen über den Blutkreislauf. Außerdem können Hormone in der

Zielzelle selbst freigesetzt werden. Dieser Vorgang wird als **autokrine** Freisetzung von Hormonen bezeichnet. Die **parakrine** Freisetzung von Hormonen erfolgt von einer benachbarten Zelle der Zielzelle. Die Hormone nutzen bei der parakrinen Freisetzung nicht den Blutstrom als Transportmedium, sondern der Transport erfolgt per Diffusion.

Allerdings ist nicht allein die Konzentration von Hormonen entscheidend für die Zellreaktionen. Die Wirksamkeit ist ebenfalls von der Rezeptorspezifität, Rezeptoraffinität und Rezeptordichte der Zielzellen abhängig. Beispielsweise passt sich die Rezeptordichte der Hormonkonzentration an. Wird eine Zelle über einen längeren Zeitraum einer erhöhten Hormonkonzentration ausgesetzt, erfolgt eine Abnahme der Zahl aktiver Rezeptoren (Rezeptor-Down-Regulation). Bei einem chronischen Hormonmangel kommt es zu einer Zunahme der Zahl aktiver Rezeptoren (Rezeptor-Up-Regulation) (vgl. de Marées, 2002, S. 93).

Krafttraining führt zu akuten bzw. chronischen Veränderungen von Hormonkonzentrationen (Fleck & Kraemer, 2004, S. 100). Dies gilt sowohl für Veränderungen der Konzentration anaboler Hormone als auch für Veränderungen kataboler Hormone.

Anabole Hormone

Verschiedene anabole Hormone beeinflussen die Proteinsynthese der Muskelzellen. Die wichtigsten Hormone sind Testosteron, Wachstumshormon und insulinähnlicher Wachstumsfaktor 1 (IGF-1¹¹¹) (Fleck & Kraemer, 2004, S. 100).

Testosteron

Testosteron reguliert eine Vielzahl physiologischer Prozesse, beispielsweise den Proteinstoffwechsel oder sexuelle und kognitive Funktionen. Es wird in den Testes beim Mann gebildet. Die Frau bildet geringere Mengen in den Ovarien und in der Nebennierenrinde. Eine Testosteron-Supplementierung führt sowohl zu einem Kraftanstieg als auch zu einer Muskelhypertrophie (Bhasin et al., 2001). Sinha-Hikim et al. (2002; 2003) belegen in ihren Studien, dass es bei einer Testosteron-Supplementierung zu einem

¹¹¹ Insulin like growth factor 1.

dosis- und konzentrationsabhängigen Muskelwachstum hauptsächlich durch eine Muskelfaserhypertrophie kommt. Die Hypertrophie wird durch einen Anstieg der Anzahl von Satellitenzellen (vgl. S. 70) und Myonuklei ermöglicht (vgl. Sinha-Hikim et al., 2003).

Die direkte Einwirkung des Testosterons auf den Muskel erfolgt über eine komplexe Informationskette, die als letztes Glied die Zellkerne der Muskelzelle beeinflusst und die Proteinsynthese stimuliert (Kraemer, 1994, S. 80). Testosteron trägt allerdings ebenfalls indirekt zur Muskelhypertrophie bei, indem es die Sekretion von Wachstumshormonen stimuliert und somit auch zur Freisetzung von IGF-1 führt (vgl. Kraemer, 1994, S. 80).

Wachstumshormon (GH¹¹²)

Ebenso wie Testosteron erzielt dieses Hormon seine anabole Wirkung auf direktem und indirektem Weg. Es wird in dem Hypophysenvorderlappen gebildet. De Marées (2002, S. 96) benennt folgende Wirkungen dieses Hormons:

- Mobilisation von Fettsäuren aus dem Fettgewebe
- Erhöhung des Blutzuckerspiegels
- Steigerung der Proteinbiosynthese in der Muskulatur
- Förderung des Knorpel-, Knochen- und Muskelwachstums

Die direkte Wirkung dieses Hormons basiert auf der Reaktion des Wachstumshormons mit einem entsprechenden Rezeptor auf der Zellmembran. Allerdings scheint ein Großteil der anabolen Wirkung dieses Hormons durch den insulinähnlichen Wachstumsfaktor 1 zu erfolgen (vgl. Godfrey, Madgwick, & Whyte, 2003, S. 607).

Insulinähnliche Wachstumsfaktoren

Die insulinähnlichen Wachstumsfaktoren haben einen bedeutenden Einfluss sowohl auf das normale Wachstum als auch auf trainingsinduzierte Wachstumsprozesse der Skelettmuskulatur: "In spite of the association of excess IGF-II with tumors, in general it is clear that IGF-I plays a major role in

¹¹² Growth Hormone.

development, growth, differentiation, and maintenance of skeletal muscles, both in culture and in intact animals" . (Florini, Ewton, & Coolican, 1996, S. 487)

Es existieren zwei insulinähnliche Wachstumsfaktoren, die mit IGF-1 und IGF-2 bezeichnet werden. Diese kleinen Polypeptide werden hauptsächlich in der Leber gebildet, allerdings kann nahezu jedes Gewebe insulinähnliche Wachstumsfaktoren bilden (vgl. Fleck & Kraemer, 2004, S. 107-108; Godfrey et al., 2003, S. 601). McKoy et al. (1999) weisen auf die Bedeutung der autokrinen und parakrinen Freisetzung von IGF-1 hin. Sie unterscheiden zwischen den Unterformen **mechano-growth factor** (MGF) und **liver-type insulin growth factor-1** (L-IGF-1). (vgl. McKoy et al., 1999, S. 584). MGF wird nur bei mechanischen Stimuli (Dehnungsreiz, Training) in der Skelettmuskulatur gebildet.

Katabole Hormone

Die Glukokortikoide, deren Hauptvertreter das **Kortisol**¹¹³ ist, werden in der mittleren Schicht der Nebennierenrinde gebildet (de Marées, 2002, S. 98). Weitere Glukokortikoide sind das **Kortison** und **Kortikosteron** (vgl. Pschyrembel, 1994, S. 553).

Kortisol

Kortisol beeinflusst eine Anzahl metabolischer Prozesse und Immunreaktionen des menschlichen Körpers (Jacks, Sowash, Anning, McGloughlin, & Andres, 2002, S. 286). Dieses Glukokortikoid beeinflusst den Kohlenhydrat- und Eiweiß-Stoffwechsel. Es verstärkt die Herzkraft und führt zu einer Gefäßverengung im peripheren Kreislauf durch eine verstärkte Katecholaminwirkung. Kortisol hat zudem eine entzündungshemmende Wirkung, welche durch eine Einschränkung der unspezifischen und der spezifischen Immunabwehr erreicht wird (de Marées, 2002, S. 99).

Kortisol ist für das Krafttraining auf Grund seiner katabolen Wirkung auf die Skelettmuskulatur von besonderer Bedeutung (Kraemer, 2000, S. 111). Ein intensives Krafttraining führt zu einem akuten Anstieg der Kortisol-Konzentration (Kraemer, 2000, S. 111).

¹¹³ Es existiert auch im deutschsprachigen Bereich die Schreibweise "Cortisol" (vgl. Pschyrembel, 1994, S. 553).

Einfluss der Belastungsnormative auf endokrine Anpassungen

Krafttraining führt zu einer Vielzahl von akuten und (bei einer entsprechenden Gestaltung des Trainings) chronischen endokrinen Reaktionen (vgl. Häkkinen et al., 1988). Die folgenden Faktoren haben entscheidenden Einfluss auf die hormonellen Adaptationen (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 97):

- Größe der Muskelmasse, die rekrutiert wird
- Belastungsintensität
- Belastungsdichte
- Belastungsumfang
- Trainingserfahrung des Trainierenden

Ein Krafttraining sollte folgende Kriterien erfüllen, um eine optimale Reaktion des endokrinen Systems zu provozieren (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 97; Kraemer, 2000, S. 112; Tidow, 1999, S. 64):

- Das Trainingsprogramm sollte Übungen der großen Muskeln und Muskelgruppen enthalten (z. Bsp. Beinpresse, Kniebeuge, Klimmzüge etc.).
- Die Belastungsintensität sollte zwischen ca. 70%-95% des Einerwiederholungsmaximums liegen.
- Die Pausendauer sollte 30-60 Sekunden betragen.
- Es sollte ein mittlerer bis großer Belastungsumfang gewählt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit kann natürlich nur ein Überblick über die endokrinen Adaptationen, die durch ein Krafttraining hervorgerufen werden, gegeben werden¹¹⁴. Ein grundlegendes Verständnis dieser Prozesse ist jedoch von entscheidender Bedeutung für die Beurteilung der Effektivität unterschiedlicher Krafttrainingsprogramme (Kraemer, 2000): "Thus, understanding this natural anabolic activity that takes place in the athlete's body

¹¹⁴ Für eine detaillierte Darstellung siehe Fleck & Kraemer (2004, S. 96 - 113) und de Marées (2002, S. 87 - 113).

is fundamental to successful recovery, adaptation, program design, training progression and ultimately athletic performance ..." (S. 92).

3.6.6 Körperzusammensetzung

Die Körperzusammensetzung ist sowohl für den Bereich der Präventivmedizin als auch der Leistungsmedizin (und somit auch für die Trainingswissenschaft) von erheblicher Bedeutung (Hollmann et al., 2000, S. 110). Das Zweikomponentenmodell von Brozek, Grande, Anderson und Keys (1963) beschreibt die Körperzusammensetzung aus den Komponenten fettfreie Körpermasse und Körperfett. Dieses Modell hat sich gegenüber anderen Modellen, die eine differenziertere Einteilung der Körperzusammensetzung verwenden (vgl. Pollock et al., 1995, S. 168), durchgesetzt.

Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung

Verschiedene Methoden erlauben die Erfassung der Körperzusammensetzung. Die Bestimmung der Körperzusammensetzung erfolgt im Fitness- und Wellness Bereich zumeist über die Methode der **bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA)**. Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung kurz aufgeführt. Im Zweikomponentenmodell bedingt die Bestimmung des Körperfettgehaltes oder der fettfreien Körpermasse immer auch die Bestimmung der Körperzusammensetzung.

Hydrostatische Methoden

Sowohl das Gewicht als auch die Wasserverdrängung einer in einen Wassertank getauchten Testperson können zur exakten Bestimmung der Körperzusammensetzung genutzt werden (vgl. Hollmann et al., 2000; Pollock et al., 1995; Ward, Pollock, Jackson, Ayres, & Pape, 1978). Diese Methoden bilden den "Goldstandard" bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung. Beide Methoden sind allerdings mit einem hohen Aufwand verbunden. Die Testperson muss dabei komplett in einen Wassertank getaucht werden.

Luftplethysmographie

Bei dieser Methode wird anstatt der Wasserverdrängung die Verdrängung von Luft gemessen. Der Proband begibt sich hierzu in eine Kammer mit

einem definierten Luftvolumen. Durch die Reduktion des Luftvolumens kann die Körperzusammensetzung berechnet werden. Die Luftplethysmographie erlaubt eine den hydrostatischen Methoden ähnlich exakte Bestimmung der Körperzusammensetzung (Biaggi et al., 1999).

Hautfaltendicke (Kaliper)

Die Messung von Hautfaltendicken mittels Kalipermetrie ist ein einfaches und reliables Verfahren zur Bestimmung der Körperzusammensetzung. Es werden die Hautfaltendicke (bzw. die Summe der Hautfaltendicken) von einem bis sieben Messpunkten¹¹⁵ mittels eines Kaliper gemessen. Mit Hilfe von populationsspezifischen Algorithmen kann dann auf den jeweiligen Körperfettanteil geschlossen werden (vgl. Harmann, Garhammer, & Pandorf, 2000, S. 315; Herm, 2003).

Hautfaltendicke (Ultraschall)

Eine Alternative zur Bestimmung der Hautfaltendicke mittels eines Kalipers besteht in der Messung der Hautfaltendicke mit Hilfe von Ultraschall. Hierbei wird die Distanz zwischen Haut-Unterhautfettgewebe und Fett-Muskelgewebe gemessen (vgl. Abbildung 22).

¹¹⁵ Z. Bsp. die Hautfaltendicke am Trizeps oder an der Hüfte. Eine ausführliche Beschreibung der Messpunkte findet sich in Pollock. et al. (1995, S. 175-178).

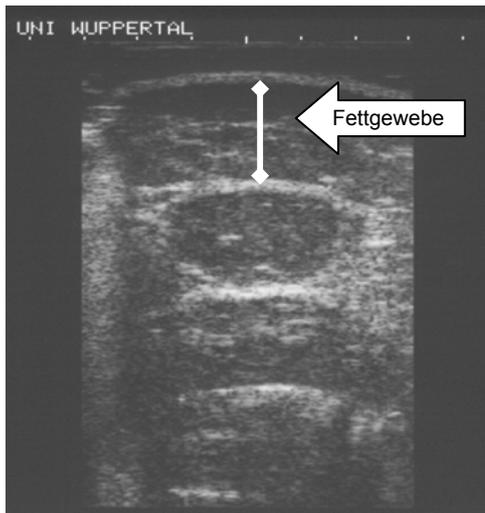


Abbildung 22: Ultraschallbild des M. quadrizeps femoris einer Probandin (Körperfettanteil: 31,5%-BMI: 25,8)

Ebenso wie bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung mittels Hautfaltendickenmessung durch Kalipermetrie werden bei der Bestimmung der Körperzusammensetzung durch Ultraschall mehrere Messpunkte¹¹⁶ genutzt. Die Dicke der Unterhautfettschicht an den Messpunkten wird adiiert, und mit einem populationsspezifischen Algorithmus wird der Körperfettanteil berechnet.

Dieses Verfahren hat gegenüber der Bestimmung der Hautfaltendicke mit Hilfe eines Kalipers Vorteile (vgl. Pollock et al., 1995, S. 192). Mittels Ultraschall können beispielsweise auch die Hautfaltendicken von übergewichtigen Personen problemlos gemessen werden (vgl. Saito et al., 2003, S. 147).

Magnetresonanztomographie und Computertomographie

Sowohl mittels der Magnetresonanztomographie als auch mit der Computertomographie lässt sich die Körperzusammensetzung exakt bestimmen (Thomas et al., 1998). Beide Methoden vermessen die Körperzusammensetzung an einer definierten Stelle an mehreren Stellen oder die Körperzusammensetzung des gesamten Körpers (Herm, 2003, S. 153; Thomas et al., 1998, S. 1778).

¹¹⁶ Die Anzahl der benutzten Messpunkte variiert. Pollock (1995, S. 195) gibt fünf Messpunkte als optimale Anzahl zur Bestimmung der Körperzusammensetzung an.

Ein entscheidender Nachteil der Computertomographie ist die Strahlenexposition der zu untersuchenden Personen. Die Magnetresonanztomographie dagegen ist sehr kostenintensiv. Allerdings erlauben sowohl die Computertomographie, als auch die Magnetresonanztomographie neben einer Einteilung in fettfreie Masse und Körperfett weitere Unterscheidungen der vermessenen Probanden. So ist eine Unterscheidung zwischen Unterhautfett und restlichem Körperfett möglich (vgl. Thomas et al., 1998). Die anderen Messmethoden erlauben diese Differenzierung nicht.

Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA)

Das bioelektrische Impedanzmessverfahren ist eine relativ neue Methode zur Bestimmung der Körperzusammensetzung (Hollmann et al., 2000, S. 111; Kyle et al., 2004). Hierbei wird ein elektrischer Strom¹¹⁷ mittels zwei bis acht Elektroden durch die zu vermessende Testperson geleitet. Auf Grund des gemessenen elektrischen Widerstands kann mit Hilfe eines Algorithmus auf die Körperzusammensetzung geschlossen werden (Pollock et al., 1995, S. 188).

Die Bestimmung der Körperzusammensetzung mittels bioelektrischer Impedanzanalyse ist nicht unumstritten (Herm, 2003, S. 154). Besonders die Abhängigkeit der bioelektrischen Impedanzanalyse von dem Flüssigkeitshaushalt der Testpersonen stellt ein großes Problem dar. Veränderungen des Flüssigkeitshaushalts der Testpersonen z. Bsp. durch Sauna oder sportliche Aktivität führen zu einer Veränderung des gemessenen elektrischen Widerstands und somit zu einer Veränderung der ermittelten Körperzusammensetzung. Die große Popularität dieser Methode beruht auf der problemlosen Handhabung dieses Verfahrens.

Infrarotmessung

Ebenso wie die bioelektrische Impedanzanalyse zählt Herm (2003) die Messung des Körperfettgehalts mittels Infrarotstrahlung zu den neueren Verfahren der Bestimmung der Körperzusammensetzung. Hierbei wird die

¹¹⁷ Die in dieser Studie genutzte Tanita TBF-300 Körperfettmesswaage verwendet einen Messstrom mit einer Frequenz von 50 kHz bei 500mA Stromstärke.

optische Dichte des bestrahlten Gewebes bestimmt. An Hand dieser Daten wird der prozentuale Körperfettgehalt der Testperson extrapoliert.

Sonstige Messmethoden

Es existieren noch weitere Methoden zur Bestimmung des Körperfettgehalts¹¹⁸. Allerdings sind diese Methoden auf Grund der immensen Kosten und ihrer invasiven Natur für den sportmedizinischen Bereich nicht von entscheidender Bedeutung.

Veränderung der Körperzusammensetzung durch Krafttraining

Ein Krafttraining führt innerhalb von kurzer Zeit zu Veränderungen der Körperzusammensetzung (Broeder, Burrhus, Svanevik, Volpe, & Wilmore, 1997; Fleck & Kraemer, 2004; Kraemer et al., 2004). Fleck und Kraemer (2004, S. 91) nennen einen Zeitraum von 6 – 24 Wochen. Allerdings weisen Abe, DeHoyos, Pollock und Garzarella (2000, S. 178) darauf hin, dass die eingesetzten Methoden zur Bestimmung von Veränderungen der Körperzusammensetzung vielleicht nicht empfindlich genug sind, um minimale Veränderungen zu Beginn eines Krafttrainings zu erfassen. Die massiven Veränderungen des Proteinstoffwechsels innerhalb von Stunden nach einem Krafttraining unterstützten diese Hypothese (vgl. S. 74).

Es kommt zu einer Vergrößerung der fettfreien Körpermasse und zu einer Verminderung des Körperfettanteils. Diese Veränderungen sind von dem spezifischen Krafttrainingsprogramm abhängig. Marx et al. (2001) verglichen in einer Studie die Auswirkungen eines Zirkeltrainings mit einem geringen Belastungsumfang mit den Auswirkungen eines periodisierten Mehrsatztrainings mit einem hohen Belastungsumfang. 34 weibliche Probanden ohne Krafttrainingserfahrung trainierten über einen Zeitraum von 24 Wochen. Die Mehrsatzgruppe erzielte eine signifikant größere Reduktion des prozentualen Körperfettgehalts nach 24 Wochen. Zudem erreichte nur die Mehrsatzgruppe eine signifikante Zunahme der fettfreien Körpermasse. Die Körperzusammensetzung wurde mittels hydrostatischem Wiegen bestimmt. Allerdings wurde in dieser Studie nicht nur der Belastungsumfang variiert, auch die Geräteauswahl, die Belastungsintensität und die Trainingshäufigkeit

¹¹⁸ Die Körperwasserbestimmung und die Gesamtkörperkaliumbestimmung.

differierten. Beispielsweise trainierte die Mehrsatzgruppe viermal pro Woche, die Zirkeltrainingsgruppe absolvierte nur drei Krafttrainingseinheiten pro Woche.

3.7 Veränderungen der konditionellen Fähigkeiten

Das Ziel jedes Krafttraining besteht in der Verbesserung der konditionellen Fähigkeit Kraft. Allerdings beeinflusst ein Krafttraining nicht nur diese konditionelle Fähigkeit sondern auch Ausdauer, Schnelligkeit und Beweglichkeit (Fleck & Kraemer, 2004; Harris, Stone, O'Bryant, Proulx, & Johnson, 2000).

3.7.1 Kraft

Sowohl statische als auch dynamische Krafttrainingsmethoden führen zu Verbesserungen der Kraftfähigkeiten (Atha, 1981; Fleck & Kraemer, 2004; Hollmann et al., 2000).

Messmethoden der Kraft

Hollmann et al. (2000, S. 169-173) unterscheidet zwischen **subjektiven**, **semiobjektiven** und **objektiven Messmethoden** der Kraft:

Subjektive Messmethoden

Die optische Beurteilung bzw. die Palpation eines Probanden sind Verfahren, die unter die Kategorie der subjektiven Messmethoden fallen. Da diese Messmethoden nicht bzw. nur ungenügend standardisierbar sind, eignen sie sich nicht für wissenschaftliche Studien (vgl. Hollmann et al., 2000, S. 169).

Semiobjektive Messmethoden

Unter die Kategorie der semiobjektiven Messmethoden fallen alle Formen der Dynamometrie¹¹⁹ und der Isokinetik. Die dynamometrischen Verfahren arbeiten mit Widerstandsgebern (Dehnungsmessstreifen), kapazitiven Gebern (Kondensator mit elastischer Zwischenschicht) oder mit piezoelektrischen Gebern (Quarzkristalle) (Hollmann et al., 2000, S. 169).

¹¹⁹ Gesamtheit der Verfahren zur Messung dynamischer Größen, speziell zur Messung von Reaktionskräften, die an der Peripherie des menschlichen Körpers auftreten (Baumann, 1992, S. 179).

Die Semiobjektivität dieser Messmethoden ergibt sich durch den großen Einfluss der Motivation der Probanden auf die gemessenen Kraftwerte (vgl. Hollmann et al., 2000, S. 169).

Apparative Screeningtests wie die Bestimmung der maximalen Wiederholungszahl bei einer vorgegebenen Belastungsintensität fallen ebenfalls unter die Kategorie der semiobjektiven Messmethoden (vgl. Verdonck & Wilke, 1998, S. 125).

Objektive Messmethoden

Radlinger (1998) sieht die Objektivität einer Messmethode nur dann als gegeben an, "..., wenn diese unabhängig vom Messinstrumentarium oder von den beteiligten Personen ist" (S. 31). Hollmann et al. (2000, S. 172) benennen in ihrer Arbeit unter anderem die Bestimmung des Muskelquerschnitts mittels Ultraschalluntersuchung als objektive Messmethode. Umfangsmessungen werden von den Autoren zwar ebenfalls der Kategorie der objektiven Messmethode zugeordnet, allerdings wird die Eignung dieser Messmethoden zur Bestimmung von Muskelquerschnitten kritisch hinterfragt.

Veränderungen der Maximalkraft

Die Maximalkraft kann entweder dynamisch oder isometrisch bestimmt werden (vgl. Schlumberger & Schmidtbleicher, 2000). Eine dynamische Maximalkraftbestimmung kann über die Erhebung eines Einerwiederholungsmaximums (EWM) bestimmt werden. Hierbei wird durch progressive Steigerung der Belastungsintensität das Gewicht ermittelt, welches von dem Probanden gerade noch ein Mal bewältigt werden kann. Bei isometrischen Messmethoden wird die Maximalkraft beispielsweise über Dehnungsmessstreifen erfasst. Die Bestimmung isometrischer Maximalkraftwerte zur Beurteilung von Veränderungen dynamischer Maximalkraftwerte ist auf Grund des engen Zusammenhangs zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft ein valides und häufig genutztes Verfahren (vgl. Kraemer & Fry, 1995; Schlumberger & Schmidtbleicher, 2000).

Im Folgenden werden an Hand dreier Untersuchungen exemplarisch die isometrischen Maximalkraftänderungen auf Grund eines dynamischen Krafttrainings beschrieben. Weitere Untersuchungen zur Veränderung der

isometrischen Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur auf Grund eines dynamischen Krafttrainings sind in Tabelle 13 aufgeführt.

In der schon erwähnten Trainingsstudie von Starkey et al. (1996) erzielten die Probanden nach einem 14-wöchigen dynamischen Krafttraining der Beinmuskulatur eine signifikante ($p < 0,05$) Verbesserung der isometrischen Kraftwerte für die Kniestreckung¹²⁰ um 20,9% für die Einsatz-Trainingsgruppe und eine Verbesserung von 20,0% Prozent für die Mehrsatz-Trainingsgruppe (Starkey et al., 1996, S. 1313). Die Studie wurde mit untrainierten weiblichen und männlichen Probanden durchgeführt.

Braith et al. (1989) untersuchten in ihrer Studie die Bedeutung der Trainingsfrequenz eines Krafttrainings auf isometrische und dynamische Maximalkraftverbesserungen. Es wurden zwei Untersuchungen über einen Zeitraum von 10 bzw. 18 Wochen durchgeführt. In beiden Teilstudien wurden die Probanden¹²¹ jeweils auf zwei Trainingsgruppen und eine Kontrollgruppe an Hand in Pretests erhobenen isometrischen Maximalkraftwerten parallelisiert. In beiden Teilstudien führten die Probanden ein bilaterales Beinstrecktraining zwei Mal bzw. drei Mal pro Woche durch. Es handelte sich um ein Einsatztraining mit einem Gewicht, welches 7-10 WDH bis zur subjektiven Erschöpfung erlaubte. Die isometrische Maximalkraft wurde in den folgenden Kniegelenkwinkeln mit einem Tensiometer der Firma Nautilus ermittelt: 70°, 85°, 100°, 115°, 130°, 145°, 160° und 171°. Der höchste Drehmomentwert, der bei den Messungen in unterschiedlichen Gelenkpositionen ermittelt wurde, wurde als isometrische Maximalkraft (peak isometric force) definiert. Alle Trainingsgruppen zeigten signifikante Verbesserungen ($p < 0,01$) der isometrischen Maximalkraft. Die Kraftverbesserungen betragen bei der Teilstudie über einen Trainingszeitraum von 18 Wochen 28,4% ($\pm 14,6$) für die Gruppe, die drei Mal pro Woche trainierte und 20,9% ($\pm 12,2$) für die Gruppe, die zwei Mal pro Woche trainierte. Bei der Teilstudie über 10 Wochen betragen die Kraftgewinne 21,2% ($\pm 11,7$) für die Gruppe, die drei Mal die Woche trainierte und 13,5% ($\pm 12,3$) für die Gruppe, die zwei Mal pro Woche trainierte. Die

¹²⁰ Es wurden die Kraftwerte bei multiplen Kniegelenkwinkelstellungen untersucht. Die dargestellten Werte beziehen sich auf die Kniegelenkwinkelstellung von 96°.

¹²¹ Insgesamt nahmen 117 untrainierte männliche und weibliche Probanden an der Studie teil.

Gruppen, die drei Mal pro Woche trainierten, erreichten signifikant ($p < 0,05$) höhere Kraftgewinne als die Gruppen, die zwei Mal pro Woche trainierten. Die Steigerungen der isometrischen Maximalkraftwerte war bei den Gruppen, die 18 Wochen trainierten, signifikant ($p < 0,05$) größer als bei den Gruppen die 10 Wochen trainierten.

Hass, Garzarella, de Hoyos, und Pollock (2000) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen eines 13-wöchigen Ganzkörperkrafttrainings¹²² unter anderem auf die isometrische Maximalkraft sowie die Kraftausdauer der Beinstrecker. Bei den Probanden handelte es sich um 42 männliche und weibliche Fitnesssportler, die bereits seit mindestens 1 Jahr an den in der Studie eingesetzten Trainingsmaschinen¹²³ ein Einsatz-Training durchgeführt hatten. Die Einsatz-Trainingsgruppe erreichte nach der Trainingsphase bei einem Gelenkwinkel von 96° einen nicht signifikanten ($p < 0,05$) Zuwachs der isometrischen Maximalkraft für die Kniestreckung von 2,5%. Die Mehrsatz-Trainingsgruppe erreichte nach der Trainingsphase für den gleichen Kniegelenkwinkel einen signifikanten ($p < 0,05$) Kraftzuwachs von 9,8%¹²⁴. Die Autoren nennen für die anderen Gelenkwinkel¹²⁵ von diesem Ergebnis stark abweichende Kraftzuwächse und geben gemittelte Kraftzuwächse für die Kniegelenkstreckung von 6,3% für die Einsatz-Trainingsgruppe bzw. 6,8% für die Mehrsatztrainingsgruppe an. Allerdings wird die Signifikanzgrenze ($p < 0,05$) von den Kraftgewinnen der Einsatz-Trainingsgruppe nur bei zwei Gelenkwinkeln unterschritten. Die Kraftgewinne der Mehrsatztrainingsgruppe unterschreiten bei allen Gelenkwinkeln die Signifikanzgrenze ($p < 0,05$).

Zusammenfassung

Die folgende Tabelle fasst die dargestellten drei Untersuchungen sowie weitere Untersuchungen zu Veränderungen der isometrischen Maximalkraft durch

¹²² Es wurde ein Zirkeltraining mit neun Krafttrainingsmaschinen absolviert. Die Einsatz-Trainingsgruppe durchlief den Zirkel ein Mal, die Mehrsatz-Trainingsgruppe durchlief den Zirkel drei Mal. Die Trainingshäufigkeit betrug drei Trainingseinheiten pro Woche, es wurde mit 8 - 12 Wiederholungen bis zur subjektiven Erschöpfung trainiert.

¹²³ Es handelte sich um MedX Trainingsmaschinen.

¹²⁴ Diese prozentualen Werte wurden an Hand der in der Studie angegebenen absoluten Werte (Hass, de Hoyos, Garzarella, & Pollock, 1998, S. 239) berechnet.

¹²⁵ Die isometrische Maximalkraft wurde insgesamt in sieben Gelenkwinkelstellungen gemessen (maximale Beugung, 96° , 78° , 60° , 42° , 24° und 6°).

ein dynamisches Krafttraining zusammen (vgl. Tabelle 13):

Tabelle 13: Auswirkungen eines dynamischen Krafttrainings auf die isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur

Quelle	Geschlecht	Dauer (Wochen)	Frequenz (TE pro Woche)	Beinübungen	Sätze und WDH	% isometrischer Kraftzuwachs
Häkkinen et al., 1985	M (TR)	24	3	1	3 x 10	26,8***
Rutherford & Jones, 1986	M (UT)	12	3	1	1 x 6	15,0*
Jones & Rutherford, 1987	M & W (UT)	12	3	1	4 x 6	11,0-15,0***
Braith et al., 1989	M & W (UT)	10	3	1	1 x 7-10	21,2**
Braith et al., 1989	M & W (UT)	18	3	1	1 x 7-10	28,4**
Starkey et al., 1996	M & W (UT)	14	3	1	1 x 8-12	30,1*
Starkey et al., 1996	M & W (UT)	14	3	1	3 x 8-12	26,8*
Hass et al. (2000)	M & W (TR)	13	3	1	1 x 8-12	6,3*
Hass et al. (2000)	M & W (TR)	13	3	1	3 x 8-12	6,8*
Ahtiainen et al., 2003	M (UT)	21	2	2	3-6 x 5-15	21,0*
Ahtiainen et al., 2003	M (TR)	21	3	KA	6-12	4,0
Paulsen et al., 2003	M (UT)	6	3	2	1 x 7	3,6
Paulsen et al., 2003	M (UT)	6	3	2	3 x 7	8,7*

* Signifikant ($p < 0,05$)

** Hoch signifikant ($p < 0,01$)

*** Höchst signifikant ($p < 0,001$)

UT: Untrainiert

TR: Trainiert

KA: Keine Angaben

TE: Trainingseinheiten

Die dargestellten Untersuchungen zeigen Verbesserungen der isometrischen Maximalkraftwerte, die zwischen 6,3% und 30,1% liegen.

Veränderungen der Kraftausdauer

Die Messung der Kraftausdauer kann wie die Erfassung der Maximalkraft dynamisch oder isometrisch erfolgen. Zudem wird zwischen einer absoluten und einer relativen Kraftausdauer unterschieden. Die absolute Kraftausdauer ist die geleistete Gesamtarbeit, die bewegte Gesamtlast oder die Wiederholungszahl bei einer definierten submaximalen Belastung. Die relative Kraftausdauer ist die geleistete Gesamtarbeit, die bewegte Gesamtlast, oder die Wiederholungszahl bei einer Belastungsintensität, die einem definierten Anteil (z. Bsp. 50%-60%) der Maximalkraft entspricht (vgl. Kraemer & Fry, 1995; Schlumberger & Schmidbleicher, 2000). Zur Bestimmung der relativen Kraftausdauer ist es notwendig, vorher die Maximalkraft zu bestimmen.

Die Belastungsvorgaben für Kraftausdauer tests von Schlumberger und Schmidbleicher (2000) müssen auf Grund aktueller Studien zur Relation zwischen der Belastungsintensität und der Wiederholungszahl bei unterschiedlichen Trainingsübungen kritisch hinterfragt werden (Buskies & Boeckh-Behrens, 1999; Marschall & Fröhlich, 1999). Schlumberger und Schmidbleicher (2000) schreiben in ihrer Arbeit: "Um die anaeroben Stoffwechselmechanismen zu erfassen, sind Testzeiträume zwischen 40 und 60 Sekunden zu empfehlen [53,33]. Um innerhalb des geforderten Zeitbereichs eine Auslastung zu erzeugen, sollten Lasten von 50%-60% der dynamischen Maximalkraft bei Kraftausdauer tests verwendet werden" (S. 225).

Besonders deutlich wird der Widerspruch zwischen der vorgegebenen Belastungsintensität und der angestrebten Testdauer von 40-60 Sekunden bei der Übung Beinpresse¹²⁶. Selbst bei 60% der Maximalkraft erreichen die Probanden bei Marschall und Fröhlich (1999, S. 313) eine mittlere Wiederholungszahl von 36,0 ($\pm 14,9$) für die Übung Beinpresse. Buskies und Boeckh-Behrens (1999, S. 6) gibt ebenfalls für die Übung Beinpresse eine mittlere

¹²⁶ Vgl. hierzu auch: Exkurs: Kritik an der Trainingssteuerung mittels eines prozentualen Anteils des EWM, S. 18.

Wiederholungszahl von 42,3 ($\pm 11,3$) bei einer Belastungsintensität von 60% der Maximalkraft an. Die maximale Wiederholungszahl, die von einem Probanden hierbei erreicht wurde, betrug 63 WDH. Selbst bei einer zügigen Bewegungsausführung von ca. 1,5-2 Sekunden pro Wiederholung würde bei dieser Belastungsintensität der Belastungszeitraum weit über den geforderten maximal 60 Sekunden pro Test liegen.

Für ein Training der Kraftausdauer empfehlen sowohl Marschall und Fröhlich (1999, S. 311) als auch Güllich und Schmidtbleicher (1999, S. 225) Belastungszeiträume von maximal 2 Minuten. Fleck und Kraemer (2004, S. 174) geben in ihrer Arbeit nur die Wiederholungszahlempfehlung von 12-20 WDH an, ohne einen Belastungszeitraum zu nennen.

In der schon erwähnten Studie von Hass et al. (2000) wurde die Veränderung der relativen Kraftausdauer¹²⁷ für die Übung Bankdrücken und Beinstrecken bei 75% der Maximalkraft (EWM) bestimmt. Beide Trainingsgruppen verbesserten ihre Kraftausdauer sowohl für die Übung Bankdrücken als auch für die Übung Beinstrecken signifikant ($p < 0,05$). Es bestanden keine signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Kraftausdauerzuwächsen der beiden Trainingsgruppen. Die Einsatz-Trainingsgruppe erreichte nach 13 Wochen eine Verbesserung der Kraftausdauer von 48,15% für die Übung Bankdrücken und 49,5% für die Übung Beinstrecken. Die Dreisatz-Trainingsgruppe erzielte Kraftausdauererhebungen von 58,4% für die Übung Bankdrücken und 66,7% für die Übung Beinstrecken. Beide Übungen sowie die entsprechenden Tests wurden bilateral ausgeführt.

Rhea et al. (2003) untersuchten in ihrer Trainingsstudie die Effekte dreier Periodisierungsmodelle des Krafttrainings auf Maximalkraft und Kraftausdauer. Je 30 krafttrainingserfahrene Männer und Frauen wurden auf drei Gruppen¹²⁸ verteilt, die ein Krafttraining mit einem Cybex 4611 Beinstreckgerät 2 x pro Woche über einen Untersuchungszeitraum von 15 Wochen absolvierten. Die Kraftausdauer wurde über die maximal mögliche Wiederholungszahl bestimmt, die bei einem Trainingsgewicht, welches 50% des Körpergewichts des Probanden entsprach, erreicht wurde. Die Maximalkraft wurde

¹²⁷ Es wurde die maximal mögliche Wiederholungszahl registriert.

¹²⁸ Jede Trainingsgruppe bestand aus 10 Männern und 10 Frauen.

über einen Einerwiederholungs-Maximaltest bestimmt. Die Tests fanden vor der Trainingsphase, nach sieben und nach 15 Wochen statt.

Die Periodisierungsschemata sowie die Satz- und Wiederholungszahlen sind in folgender Tabelle dargestellt (s. Tabelle 14):

Tabelle 14: Die Variation der Belastungsnormativa in der Studie von Rhea et al. (2003, S. 84)

Periodisierungsmodell	Woche bzw. Training	Satzzahl x WDH
linear periodization (LP)	1-5	3 x 25
	6-10	3 x 20
	11-15	3 x 15
reverse linear periodization (RLP)	1-5	3 x 15
	6-10	3 x 20
	11-15	3 x 25
daily undulating periodization (DUP)	Training 1	3 x 25
	Training 2	3 x 20
	Training 3	3 x 15
	Training 4	3 x 25
	Training 5	3 x 20
	Training 6	3 x 15

Alle Gruppen erzielten signifikante ($p < 0,05$) Verbesserungen der Kraftausdauer und der Maximalkraft. Die Kraftausdauerzuwächse zwischen Pretest und Posttest betragen für die LP-Gruppe 55,9% ($\pm 48,9$), für die RLP-Gruppe 72,8% ($\pm 77,9$) und für die DUP-Gruppe 54,5% ($\pm 56,1$). Die Maximalkraftzuwächse zwischen Pretest und Posttest betragen für die LP-Gruppe 9,1% ($\pm 11,4$), für die RLP-Gruppe 5,6% ($\pm 11,4$) und für die DUP-Gruppe 9,8% ($\pm 21,3$).

Zusammenfassung

In trainingswissenschaftlichen Untersuchungen erfolgt die Erfassung der Kraftausdauer seltener als die Erfassung von Maximalkraftwerten. Zudem werden eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren zur Bestimmung der Kraftausdauer verwendet, was eine Vergleichbarkeit empirischer Untersuchungen erschwert (Hass et al., 2000; Rhea et al., 2003; Stone & Coulter, 1994).

Grundsätzlich können allerdings bei einem Krafttraining für die Kraftausdauer wesentlich größere prozentuale Verbesserungen festgestellt werden, als dies für die Maximalkraft der Fall ist. Dies gilt selbst dann, wenn mit einer Belastungsintensität trainiert wird, die maximal 6-8 WDH bis zur subjektiven Erschöpfung zulässt (vgl. Stone & Coulter, 1994, S. 233).

3.7.2 Interferenzeffekte mit anderen konditionellen Fähigkeiten

In vielen Sportarten wird ein Training der konditionellen Fähigkeit Kraft ergänzend zu dem Training anderer konditioneller Fähigkeiten durchgeführt. Somit ist es für die Trainingsplanung dieser Sportler von entscheidender Bedeutung, wie ein Krafttraining die Ausdauer, Schnelligkeit und Beweglichkeit beeinflusst.

Krafttraining und Ausdauer

"Ausdauer ist charakterisiert durch die Fähigkeit, eine gegebene Leistung über einen möglichst langen Zeitraum durchhalten zu können. Somit ist Ausdauer identisch mit Ermüdungs-Widerstandsfähigkeit" (Hollmann et al., 2000, S. 261). Erst in den letzten Jahren hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass ein Krafttraining durchaus positive Effekte auf die Ausdauer haben kann: "Surprising to some coaches and athletes, research over the past decade has emerged which indicates that resistance training may actually contribute to improvements in aerobic performance" (Hasegawa et al., 2002, S. 96).

Fleck und Kraemer (Fleck & Kraemer, 2004, S. 134) kommen in ihrer Arbeit zur Thematik der Kompatibilität eines parallelen Kraft- und Ausdauertrainings zu folgenden sechs Schlussfolgerungen:

- Ein hochintensives Ausdauertraining kann die Kraft, besonders bei schneller Bewegungsausführung, negativ beeinflussen.
- Die Schnellkraftfähigkeit wird möglicherweise am stärksten durch ein gleichzeitiges Kraft- und Ausdauertraining beeinträchtigt.
- Ein hochintensives Ausdauertraining kann kurzzeitige anaerobe Leistungen negativ beeinflussen.

- Verbesserungen der maximalen Sauerstoffaufnahme werden durch ein Krafttraining mit hohen Belastungsintensitäten nicht beeinflusst.
- Die Ausdauerfähigkeiten werden durch ein Krafttraining nicht negativ beeinflusst.

Allerdings wird die Beeinträchtigung der Schnellkraftentwicklung, wie sie in den Schlussfolgerungen von Fleck und Kraemer (2004) beschrieben wird, in einer aktuellen Studie nicht bestätigt (vgl. Balabinis, Psarakis, Moutakas, Vassiliou, & Behrakis, 2003). In dieser Studie führten drei Trainingsgruppen ein Krafttrainingsprogramm, ein Ausdauertrainingsprogramm und ein paralleles Kraft- und Ausdauertrainingsprogramm durch. 26 männliche Probanden nahmen an dieser Studie teil. Der Trainingszeitraum betrug sieben Wochen. Besonders interessant ist die Steigerung der Sprungleistung der Trainingsgruppe, die ein paralleles Kraft- und Ausdauertraining durchführte. Diese Trainingsgruppe verbesserte ihre Sprungleistung von 53,3 cm ($\pm 3,14$) auf 59,6 cm ($\pm 2,37$) (+10,6 %). Die Krafttrainingsgruppe verbesserte ihre Sprungleistung von 53,1 cm ($\pm 2,67$) auf 58,7 cm ($\pm 1,88$) (+9,5 %). Die Steigerungen der Sprungleistung beider Gruppen waren statistisch signifikant ($p < 0,05$). Sowohl die Ausdauertrainingsgruppe (Pre: 51,4 cm ($\pm 2,81$); Post: 51,3 cm ($\pm 3,16$)) als auch die Kontrollgruppe (Pre: 52,2 cm ($\pm 2,16$); Post: 51,2 cm ($\pm 1,3$)) zeigten keine signifikanten Verbesserungen ihrer Sprungleistung.

Krafttraining und Schnelligkeit

Hollmann et al. (2000) definieren Schnelligkeit als "...die Abwicklung einer gegebenen motorischen Aktion pro Zeiteinheit..." (Hollmann et al., 2000, S. 241). Die Schnellkraft, also "...die Fähigkeit des neuromuskulären Systems, einen möglichst großen Impuls (Kraftstoß) innerhalb einer kurzen Zeit zu entfalten" (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225), beeinflusst sowohl die maximale azyklische als auch die zyklische Schnelligkeit. Im anglo-amerikanischen Bereich wird die Schnellkraft als "power (Fleck & Kraemer, 2004, S. 5)" bzw. als "muscular power" (Kraemer et al., 2002, S. 371) bezeichnet.

Wilson, Newton, Murphy und Humphries (1993) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen von drei unterschiedlichen Trainingsinterventionen auf die Sprintschnelligkeit über 30 Meter, die maximale Sprunghöhe¹²⁹, auf die maximale Leistung in einem 6 Sekunden Ergometertest, auf das maximale Drehmoment bei einem isokinetischen Krafttest, auf die isometrische Maximalkraft und auf die maximale Geschwindigkeit der Kraftentfaltung¹³⁰. Insgesamt 64 Probanden trainierten über einen Zeitraum von 10 Wochen zwei Mal pro Woche. Es wurden vier Gruppen gebildet. Die erste Gruppe absolvierte ein "klassisches" Krafttraining mit einer Belastungsintensität, die zwischen sechs und 10 WDH bis zur subjektiven Erschöpfung zuließ¹³¹. Die zweite Gruppe absolvierte ein plyometrisches Niedersprungtraining. Die dritte Gruppe führte Kniebeugen mit Absprung aus. Hierbei wurde ein Zusatzgewicht gewählt, mit dem eine maximale Muskelleistung erreicht werden konnte. (vgl. Martin, Carl, & Lehnertz, 1993). Die vierte Gruppe diente als Kontrollgruppe.

Die dritte Gruppe (maximale Muskelleistung) erzielte die besten Ergebnisse. Allerdings erzielte die erste Gruppe ("klassisches" Krafttraining) ebenfalls signifikante Verbesserungen ($p < 0,05$) bei beiden Sprungtests, sowie bei dem 6-Sekunden-Ergometertest. Schmidtbleicher (1994) weist in seinem Artikel auf den Zusammenhang zwischen Maximalkraft und Schnellkraft hin:

Maximalkraft und Schnellkraft können nicht getrennt voneinander betrachtet werden, sie weisen untereinander hierarchische Beziehungen auf. Die Maximalkraft ist gewissermaßen die Grundqualität, von der auch die Schnellkraftleistung abhängt. Bei konzentrischen Kontraktionen findet sich eine relativ enge Korrelation zwischen Maximalkraft und Schnellkraft, wobei die Bedeutung der Maximalkraft von der Höhe des zu überwindenden Widerstandes bestimmt wird. Innerhalb eines

¹²⁹ Es wurden hierbei sowohl "countermovement" Sprünge, als auch Sprünge ohne Gegenbewegung gemessen.

¹³⁰ Das maximale Drehmoment wurde mit einem isokinetischem Beintreckgerät ermittelt (Cybex II isokinetischem Dynamometer). Die isometrischen Messwerte wurden für die Übung Kniebeuge mittels einer über einer Kistler-Kraftmessplatte angebrachten Multipresse gemessen.

¹³¹ Als Trainingsübung wurde die Kniebeuge gewählt.

Dehnungsverkürzungszyklus ist dagegen die Beziehung zwischen Maximal- und Schnellkraftleistung nur verhältnismäßig gering ausgeprägt. (S. 375)

Er stellt in diesem Artikel ebenfalls fest, dass eine Verbesserung der Maximalkraft immer auch eine Verbesserung der Schnellkraft bedeutet (Schmidtbleicher, 1994, S. 375). Allerdings führt ein allgemeines Krafttraining nicht zu einer optimalen Entwicklung der sportartspezifischen Schnellkraft. Hierzu ist eine Kombination von einem allgemeinem Krafttraining mit spezifischen Trainingsmethoden notwendig (vgl. Baker, 1996; Fatouros et al., 2000; Hohmann et al., 2002, S. 82-83; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Weiss, Coney, & Clark, 1999; Wilson et al., 1993). Diese spezifischen Trainingsmethoden müssen an die gewünschte Wettkampf- bzw. Zielbewegung angepasst werden. Hierbei ist zu beachten, ob es sich bei der Wettkampf- bzw. Zielbewegung um einen Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus (DVZ) handelt. Wenn dies der Fall ist, sollte ebenfalls geklärt werden, ob es sich um einen kurzen DVZ (Bewegungszeit unter 200 ms) oder um einen langen DVZ (Bewegungszeit größer als 200 ms) handelt (Güllich & Schmidtbleicher, 1999, S. 225).

Krafttraining und Beweglichkeit

Hohmann et al. (2002) definieren Beweglichkeit als die Fähigkeit, "Bewegungen mit der erforderlichen Schwingungsweite ausführen zu können. Aus funktionell-anatomischer Sicht liegen ihr die Gelenkigkeit und Dehnfähigkeit zu Grunde" (Hohmann et al., 2002, S. 96). Die populäre These der Einschränkung der Beweglichkeit durch ein Krafttraining ist an Hand der Literaturlage nicht zu bestätigen (vgl. Fleck & Kraemer, 2004, S. 77; Ullrich & Gollhofer, 1994, S. 339).

Thrash und Kelly (1987) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen eines 11-wöchigen Krafttrainings auf Kraft und Beweglichkeit. 13 krafttrainingsunerfahrene männliche Probanden führten über den Trainingszeit-

raum drei Mal pro Woche ein Mehrsatz-Training¹³² durch. Ein Leighton-Flexometer (Leighton Flexometer, Inc.) wurde zur Bestimmung der Beweglichkeit des oberen Sprunggelenks, des Rumpfes und der Schulter eingesetzt. Der Vergleich der Prä-Post-Werte ergab für die Dorsal-Flexion im oberen Sprunggelenk und die Schulter-Extension signifikante ($p \leq 0,05$) Verbesserungen der Beweglichkeit. Die anderen Beweglichkeitswerte zeigten tendenzielle Verbesserungen. Die Autoren folgerten, dass ein Krafttraining, zumindest bei der hier beschriebenen Population, nicht zu einer Verminderung der Beweglichkeit führt. Im Gegenteil: Zwei der sechs gemessenen Beweglichkeitswerte zeigten signifikante ($p \leq 0,05$) Verbesserungen.

Paula, Carvalho, Azedvedo, und Nóbrega (1998) untersuchten in ihrer Studie die Kompatibilität von parallelem Kraft- und Dehntraining. Die Autoren teilten 41 Probanden (26 männliche und 15 weibliche Probanden) auf vier Gruppen auf:

- 1) Krafttraining
- 2) Dehntraining
- 3) Krafttraining und Dehntraining
- 4) Kontrollgruppe

Sowohl das Dehntraining (+25%; $p < 0,001$) als auch die Kombination von Dehn- und Krafttraining (+16%; $p < 0,001$) führten zu einer Verbesserung der Beweglichkeit. In der Krafttrainingsgruppe kam es zu keinen Veränderungen der Beweglichkeit ($p = 0,88$).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass ein Krafttraining keine bzw. eher positive Auswirkungen auf die Beweglichkeit hat. Allerdings kann es bei Sportarten, in denen einzelne Muskeln bzw. Muskelgruppen im Laufe eines langjährigen Trainings extrem hypertrophieren¹³³, zu Beweglichkeitseinschränkungen kommen (vgl. Fleck & Kraemer, 2004, S. 78).

¹³² Es wurde ein Ganzkörperkrafttraining mit freien Gewichten durchgeführt. Pro Übung wurden drei Sätze mit jeweils acht Wiederholungen ausgeführt.

¹³³ Beispielsweise die Brustmuskulatur bei Kraftdreikämpfern.

4 Hypothesen

Um zu klaren, handlungsleitenden Aussagen zu gelangen, wurden trotz des Zeitreihendesigns Hypothesen formuliert. Begründung hierfür ist die Tatsache, dass Beobachtungsdaten gewonnen wurden. Mit Hilfe der jeweiligen auf zeitreihenanalytische Verfahren abgestimmten statistische Testverfahren (vgl. Methodik) können verifizierbare bzw. falsifizierbare Aussagen getroffen werden. Darüber hinaus werden nichtparametrische, gruppenanalytische, statistische Verfahren verwendet.

Die Hypothesen wurden als Veränderungshypothesen formuliert, da auf Grund der theoretischen Befundlage keine Richtungsbezeichnungen gerechtfertigt waren:

- a. Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Trainingsmethoden Einsatz-Training (RM)¹³⁴, HIT (RM) bzw. Mehrsatz-Training (RM) führt zu unterschiedlichen Anpassungen der Maximalkraft des Oberschenkelstreckers (M. quadrizeps femoris).
- b. Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Trainingsmethoden Einsatz-Training (RM), HIT (RM) bzw. Mehrsatz-Training (RM) führt zu unterschiedlichen Anpassungen der Kraftausdauer des Oberschenkelstreckers (M. quadrizeps femoris).
- c. Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Trainingsmethoden Einsatz-Training (RM), HIT (RM) bzw. Mehrsatz-Training (RM) führt zu unterschiedlichen Anpassungen der Muskeldicke des Oberschenkelstreckers (M. quadrizeps femoris).

4.1 Operationale Hypothesen

Da der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore die Zufällsmäßigkeit einer Abfolge und nicht zwingend einen monotonen Trend überprüft, wird für die Überprüfung der Hypothesen ausschließlich der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart eingesetzt (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 322-332; Sachs, 2002, S. 487-489). Es werden jeweils ungerichtete Alter-

¹³⁴ Repetition Maximum - Wiederholungsmaximum.

nativhypothesen formuliert, da eine negative Veränderung der erhobenen Parameter nicht ausgeschlossen werden kann.

4.1.1 Hypothesen zur Veränderung der Maximalkraft

- H1.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Maximalkraftwerte der Probanden.
- H1.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Maximalkraftwerte der Probanden.
- H1.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Maximalkraftwerte der Probanden.

4.1.2 Hypothesen zur Veränderung der Kraftausdauer

- H2.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Kraftausdauerwerte der Probanden.
- H2.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Kraftausdauerwerte der Probanden.
- H2.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Kraftausdauerwerte der Probanden.

4.1.3 Hypothesen zur Veränderung der Muskeldicke

Da die Veränderung der Muskeldicken für die drei Messpunkte D_{30} , D_{50} und D_{70} bestimmt und zusätzlich der Mittelwert dieser drei Messpunkte D_{kom} berechnet wurde, erfolgt die Formulierung der Hypothesen für jeden dieser Werte individuell.

Muskeldicke D_{30}

- H3.1.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{30} der Probanden.
- H3.1.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{30} der Probanden.
- H3.1.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{30} der Probanden.

Muskeldicke D_{50}

- H3.2.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{50} der Probanden.
- H3.2.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{50} der Probanden.
- H3.2.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{50} der Probanden.

Muskeldicke D_{70}

- H3.3.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{70} der Probanden.
- H3.3.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{70} der Probanden.
- H3.3.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{70} der Probanden.

Muskeldicke D_{kom}

- H3.4.1 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Einsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{kom} der Probanden.
- H3.4.2 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der Mehrsatz-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{kom} der Probanden.
- H3.4.3 Ein 12-wöchiges Krafttraining unter Anwendung der HIT-Trainingsmethode (RM) führt zu einer monotonen Veränderung der Muskeldicke des Messpunktes D_{kom} der Probanden.

5 Material und Methode

Die gesamte Studie wurde in einem kommerziellen Fitnessstudio¹³⁵ durchgeführt. Die eingesetzten diagnostischen Verfahren (Ultraschall, Kraftmessung und Körperfettanalyse) wurden ebenfalls in dieser Einrichtung absolviert.

5.1 Probanden

Insgesamt nahmen 22 Probanden (11=w und 11=m)¹³⁶ an der Untersuchung teil. 17 Probanden wurden den Trainingsgruppen zugeordnet. 5 Probanden wurden der Kontrollgruppe zugeordnet.

Tabelle 15: Anthropometrische Daten und Beruf

Proband Nr.	Alter	Geschlecht	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Methode	Beruf
P1	27	w	173	58,3	Einsatz	Studentin
P2	34	m	183	83,6	Mehrsatz	Arzt
P3	22	m	180	71	Einsatz	Sportstudent
P4	20	m	180	64,6	Einsatz	Student
P5	20	w	180	68,8	HIT	Studentin
P6	25	w	174	67,9	HIT	Sportstudentin
P7	18	m	177	75	HIT	Schüler
P8	29	m	180	63,9	Einsatz	Auszubildender
P9	36	m	182	72,4	HIT	Maler
P10	29	m	200	91,3	HIT	Doktorand
P11	28	m	183	84,1	Mehrsatz	Physiotherapeut
P12	29	w	168	53,1	Einsatz	Krankenschwester
P13	27	w	167	63,2	Mehrsatz	Sportstudentin
P14	28	w	170	67,6	Mehrsatz	Sportstudentin
P15	35	m	178	80,3	HIT	Student
P16	24	w	172	64,7	HIT	Sportstudentin
P17	30	w	165	58,3	Einsatz	Studentin
K1	22	m	188	74,1	Kontroll	Sportstudent
K2	22	w	164	69,3	Kontroll	Auszubildende
K3	25	w	170	62	Kontroll	Physiotherapeutin
K4	23	w	169	61,1	Kontroll	Sportstudentin
K5	38	m	187	86,4	Kontroll	Freiberufler
g	26,86		176,82	70,05		
s	5,45		8,70	10,04		

¹³⁵ ProVital Gesundheitszentrum, Münster (Westfalen).

¹³⁶ Der Begriff "Proband" bezieht sich sowohl auf männliche als auch auf weibliche Teilnehmer an der Studie.

Die Probanden rekrutierten sich aus Mitgliedern und Mitarbeitern des Fitnessstudios, in dem die Untersuchung stattfand und aus Studenten (P3, P4, P5), die nicht Mitglieder des Fitnessstudios waren und über eine Plakataktion geworben wurden. Eingangsvoraussetzungen waren eine basale Krafttrainingserfahrung (6 Monate) sowie keinerlei degenerative Erkrankungen (z. Bsp. Arthrose) bzw. Verletzungen der Kniegelenke.

Es nahmen sowohl männliche (N=9) als auch weibliche Probanden (N=7) an der Studie teil. Dieses Vorgehen erscheint an Hand der Literaturlage gerechtfertigt. Cureton, Collins, Hill, & McElhannon (1988) belegen in ihrer Untersuchung gleiche Anpassungen der Kraft und des Muskelquerschnitts von Frauen und Männer auf ein 16-wöchiges Krafttraining:

In summary, significant increases in muscle CSA [Cross Sectional Area=Muskelquerschnitt] measured using CAT scans and anthropometric measures occurred in the upper arms of both men and women who participated in 16 wk of heavy-resistance training. The relative magnitude of changes were similar in men and women, although the absolute changes tended to be larger in men. We conclude that relative changes in strength and muscle hypertrophy consequent to weight training are similar in men and women. (S. 343)

5.1.1 Trainingsgruppe

Insgesamt 17 Probanden wurden auf drei Trainingsgruppen verteilt. Die Trainingsgruppen wurden nach dem Kriterium isometrische Maximalkraft des Beinstreckers parallelisiert¹³⁷. Hierzu wurden die männlichen und weiblichen Probanden nach ihren Kraftwerten jeweils in Dreierblöcke gruppiert. Diese Dreierblöcke wurden auf die drei Trainingsgruppen randomisiert verteilt. Der H-Test nach Kruskal und Wallis ergab keinerlei signifikante Unterschiede zwischen den 3 Trainingsgruppen in Bezug auf die Variable isometrische Maximalkraft¹³⁸.

¹³⁷ Vgl. Bös, Hänsel, & Schott, 2000, S. 56; Bortz & Döring, 1995, S. 491.

¹³⁸ $p=0,813$ ($\chi^2=0,413$, $df=2$).

Die Vortests wurden nach einem identischen Protokoll wie auch die späteren Haupttests durchgeführt. Zur Überprüfung der Auswirkungen der wöchentlichen Maximal- und Kraftausdauer-Tests auf die Parameter Maximalkraft, Kraftausdauer, Muskeldicke, Körpergewicht und Körperfettanteil wurde ein Proband der Kontrollgruppe (K1) über einen Zeitraum von 3 Monaten dem gleichen Testprotokoll unterzogen wie die Probanden der drei Trainingsgruppen. Dieser Proband führte während dieser Zeitperiode kein Krafttraining durch. Die übrigen Probanden (K2-K5) der Kontrollgruppe wurden zwei Mal dem Testprotokoll in einem Abstand von ca. 3 Monaten unterzogen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Projektablauf (vgl. Tabelle 16):

Tabelle 16: Ablaufplan der Studie
(Die Gewöhnungstrainingseinheiten sind mit G1-G3 gekennzeichnet. T1-T36 symbolisieren die einzelnen Trainingseinheiten. Die Kreuze symbolisieren, welche Tests zu welchen Zeitpunkten durchgeführt wurden)

	Training	Maximalkraft	Kraftausdauer	Ultraschall
Pre-Test 1		X		
	G1			
Gewöhnungstraining	G2			
	G3			
Pre-Test 2		X	X	X
	T1			
Woche 1	T2			
	T3			
Messung 1		X	X	X
	T4			
Woche 2	T5			
	T6			
Messung 2		X	X	X
	T7			
Woche 3	T8			
	T9			
Messung 3		X	X	X
	T10			
Woche 4	T11			
	T12			
Messung 4		X	X	X
	T13			
Woche 5	T14			
	T15			
Messung 5		X	X	X
	T16			
Woche 6	T17			
	T18			
Messung 6		X	X	X
	T19			
Woche 7	T20			
	T21			
Messung 7		X	X	X
	T22			
Woche 8	T23			
	T24			
Messung 8		X	X	X
	T25			
Woche 9	T26			
	T27			
Messung 9		X	X	X
	T28			
Woche 10	T29			
	T30			
Messung 10		X	X	X
	T31			
Woche 11	T32			
	T33			
Messung 11		X	X	X
	T34			
Woche 12	T35			
	T36			
Post-Test 1		X	X	X
Woche 13	Kein Krafttraining			
Post-Test 2		X	X	X

5.2 Messmethoden

Es wurden die Parameter isometrische Maximalkraft, Kraftausdauer, Muskeldicke des M. quadrizeps femoris, Körpergewicht und Körperfettanteil erhoben. Das methodische Vorgehen wird im Folgenden erklärt.

5.2.1 Aufbau des Testprotokolls

Die Tests wurden immer in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

1. Ultraschalluntersuchung zur Bestimmung der Muskeldicke
2. Isometrische Maximalkrafttests
3. Bestimmung des Körpergewichtes und des Körperfettanteils
4. Kraftausdauertests

5.2.2 Ultraschallmessungen

Die Untersuchungen wurden mit einem Ultraschallgerät UF4500 der Marke Fukuda-Denshi und einem linearen 5 MHz Schallkopf durchgeführt. Ein Ultraschallgerät dieser Bauart wurde auch von Bemben (2002) zur Bestimmung des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris eingesetzt. Das Ultraschallgerät erwies sich im Vergleich mit Magnetresonanztomographie-Messungen als valides Instrument zur Bestimmung des Muskelquerschnitts des M. rectus femoris. Hierbei ist zudem zu berücksichtigen, dass eine deutliche Erfassung der gesamten Faszie dieses Muskels schwieriger ist als eine teilweise Darstellung, wie sie für die Darstellung der Muskeldicke benötigt wird (vgl. Abbildung 23).

Der Proband wurde in Rückenlage auf eine Untersuchungsfläche positioniert. Eine Schaumstoffrolle wurde unter das Kniegelenk des zu untersuchenden Beins gelegt, so dass ein Kniegelenkwinkel von ca. 10° resultierte. Diese Positionierung wurde vorgenommen, um eine völlige Entspannung des M. quadrizeps femoris zu erleichtern¹³⁹. Es wurde auf der vorderen Oberschenkeloberfläche die Distanz zwischen dem proximalen Rand der Knie- scheibe (Patella) und dem vorderen oberen Darmbeinstachel (Spina iliaca anterior superior) mit einem Maßband gemessen. Es wurden bei 30%, 50%

¹³⁹ Vgl. Bemben, 2002, S. 105.

und 70%¹⁴⁰ der gemessenen Strecke Punkte auf dem Oberschenkel mittels eines Filzstiftes markiert.

Diese Einteilung wurde in Anlehnung an die Empfehlung des SENIAM Projektes¹⁴¹ zur Elektrodenplatzierung bei der Ableitung des M. rectus femoris gewählt. Eine ähnliche Einteilung wurde auch in der Studie von Abe, De-Hoyos, Pollock, & Garzarella (2000), die ebenfalls Hypertrophieeffekte mittels Ultraschallmessungen untersuchten, zur Bestimmung der Muskeldicke des M. quadriceps femoris eingesetzt. Allerdings wurde in dieser Studie nicht die Distanz vom proximalen Rand der Kniescheibe bis zum vorderen oberen Darmbeinstachel gewählt, sondern die Distanz vom Trochanter major bis zur lateralen Femurkondyle. Nach Bestimmung der Messpunkte wurde eine Klarsichtfolie auf den Oberschenkel aufgebracht¹⁴² und die Messpunkte wurden auf der Folie eingezeichnet. Es wurden ebenfalls Hautauffälligkeiten wie Leberflecke etc. auf der Folie eingezeichnet, so dass bei den weiteren Ultraschallmessungen die Folie an Hand der vorhandenen Hautauffälligkeiten positioniert und die Messpunkte eingezeichnet werden konnten.

Eine große Menge Ultraschallgel gewährleistete eine klare Darstellung der Strukturen des Oberschenkels, ohne erhöhten Anpressdruck des Schallkopfes zu erfordern. Sobald ein klares Bild auf dem Monitor zu erkennen war, wurde es über die "Freeze"-Funktion des Ultraschallgerätes "eingefroren" und über einen Sony Videoprinter UP 890 CE ausgedruckt. Alle Ultraschallbilder eines Testzeitpunktes und eines Beines wurden mit der elektronischen Messeinrichtung des Ultraschallgerätes vermessen. Zusätzlich wurden die Ausdrücke mit einem digitalen Messschieber auf 0,01 mm vermessen¹⁴³. Der mit dem Messschieber ermittelte Wert wurde mit einem Faktor von 1,46 multipliziert, um die Verkleinerung des Ausdrucks zu kompensieren¹⁴⁴. Die mit

¹⁴⁰ Gemessen beginnend vom proximalen Rand der Kniescheibe.

¹⁴¹ Das europäische SENIAM Projekt (Surface EMG for Non Invasive Assessment of Muscles) diente unter anderem zur Standardisierung der Platzierung von Oberflächen Elektroden.

¹⁴² Vgl. S. 46.

¹⁴³ Siehe hierzu auch Maud & Foster (1995, p. 191-195).

¹⁴⁴ Der Faktor von 1,46 wurde durch Vermessung der vertikalen 1 cm Teilstriche eines Ultraschallausdruckes bestimmt. 10 Teilstriche wurden mit dem digitalen Messschieber vermessen. Die Messungen ergaben einen Mittelwert von 6,83 mm ($\pm 0,06$ mm). Da die Teilstriche eine 10 mm Skalierung darstellen, resultiert hieraus ein Faktor von 1,46 (10/6,83), der benötigt wird, um die Verkleinerung des Ausdrucks zu kompensieren.

dem Messschieber ermittelten Werte wurden in die endgültige Analyse übernommen und werden im Anhang C3 aufgeführt.

Zur Bestimmung der Muskeldicke wurde der Abstand zwischen superfizielltem Muskel-Bindegewebeübergang des M. rectus femoris und der knöchernen Kontur des Femurs gemessen. Somit wurde die kombinierte Dicke des M. rectus femoris und des M. vastus intermedius gemessen (vgl. Abbildung 23).

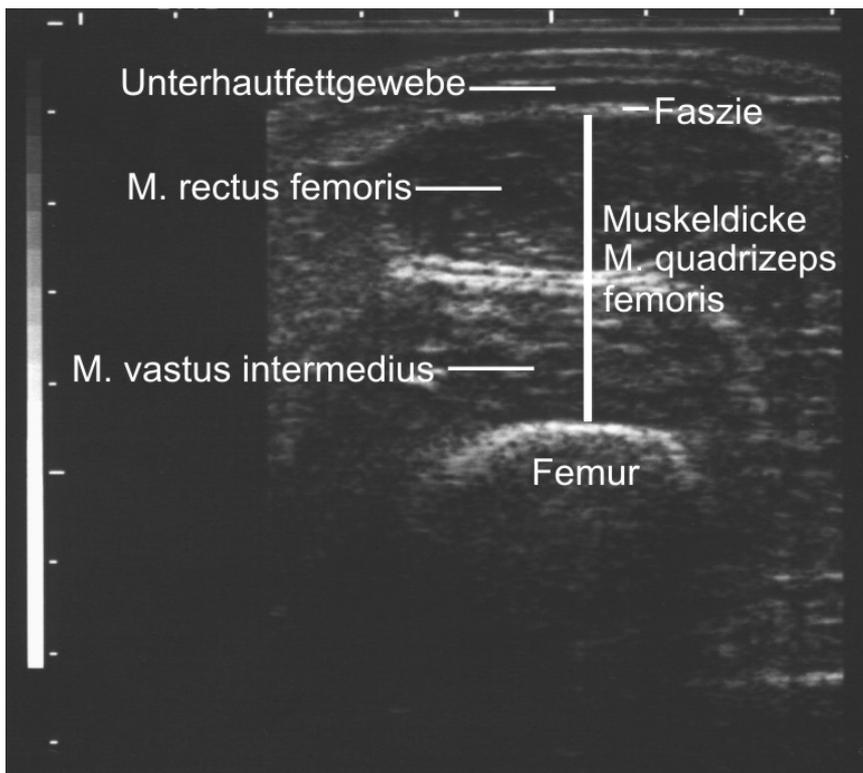


Abbildung 23: Ultraschallaufnahme des rechten M. quadrizeps femoris des Probanden P2 – Messpunkt D₃₀, Testzeitpunkt Pre-Test 2

Eine Vergleichsmessung¹⁴⁵ des Ultraschallgerätes UF4500 der Marke Fukuda-Denshi mit dem in der Vorstudie genutzten Siemens G40 Ultraschallgerät ergab eine höchstsignifikante ($p < 0,001$)¹⁴⁶ Korrelation beider Messmethoden von $\tau = 0,835$. Der ICC für diese Messungen betrug

¹⁴⁵ Hierbei wurden an einem Probanden der Kontrollgruppe (K1) die sechs Messpunkte (drei pro Bein), die in der Studie benutzt wurden, mit beiden Ultraschallgeräten nach dem schon beschriebenen Verfahren vermessen. Die Messwerte dieser Vergleichsmessung werden im Anhang B aufgeführt.

¹⁴⁶ Rangkorrelation nach Kendall.

ICC=0,983. Auch dieser Vergleich bestätigt die Reliabilität und Validität des angewandten Verfahrens zur Bestimmung der Muskeldicke.

5.2.3 Isometrische Maximalkraft

Vor der isometrischen Kraftmessung wurde ein fünfminütiges Aufwärmen auf einem Fahrradergometer durchgeführt. Die Belastung entsprach hierbei der Stufe drei (leicht bis mittel) auf der siebenstufigen RPE-Skala¹⁴⁷ von Buskies (1999). Die Bestimmung der isometrischen Maximalkraft erfolgte auf einem Messstuhl, der mit einem Digimax Kraftmesssystem ausgerüstet wurde. Das elektronische Kraftmessgerät DIGIMAX der Firma MECHATRONIC eignet sich zur elektronischen Messung isometrischer und dynamischer Belastungen. Bei diesem durch einen Mikroprozessor gesteuerten Messsystem erfolgt die Messung der Kraft mittels eines Sensors, der nach dem Prinzip des Dehnungsmessstreifens arbeitet. Zur Überprüfung des Messfehlers des DIGIMAX-Kraftsensors wurde ein auf einer Kistler Kraftmessplatte gezeichnetes Scheibengewicht von 10,19 kg gemessen (vgl. Abbildung 24).

¹⁴⁷ RPE=Rate of Perceived Exertion.



Abbildung 24: Messung des geeichten Gewichtes von 10,19 kg mit dem DIGIMAX-Kraftsensor

Es wurden 10 Messungen durchgeführt, die in Tabelle 17 dargestellt werden (vgl. Tabelle 17):

Tabelle 17: Überprüfung des Messfehlers des Kraftsensors mit einem geeichten Gewicht von 10,19 KG (99,96 Newton).

Messungen	Gemittelte gemessene Kraft (Newton)
1	100,99
2	102,58
3	101,99
4	101,50
5	102,38
6	101,06
7	101,88
8	100,43
9	101,03
10	101,00
\bar{x}	101,48
s	0,70
Mittlere Abweichung vom Vorgabewert von 99,96 Newton: 1,52 N (1,52%)	

Diese Messung bestätigt die Messgenauigkeit des Kraftsensors. Die ermittelte mittlere Abweichung von 1,52% ist weit geringer als der für diesen

Sensor angegebene Messfehler von weniger als 5 % des gemessenen Endwertes.



Abbildung 25: Messsystem zur Bestimmung der isometrischen Maximalkraft

Der Proband wurde mittels dreier Klettbänder auf dem Kraftmessstuhl fixiert (siehe Abbildung 26). Eine Fußschleife wurde so positioniert, dass sich ihre untere Begrenzung oberhalb der Malleolengabel befindet. Der Kniegelenkwinkel betrug ca. 90 Grad. Auf die akustische Aufforderung des Untersuchungsleiters versuchte der Proband, das untersuchte Bein maximal zu strecken¹⁴⁸. Es wurden jeweils zwei Tests pro Bein durchgeführt. Die Testdauer betrug jeweils 5 Sekunden, die Pausendauer zwischen den Tests betrug ca. 30 Sekunden. Es wurde immer zuerst das linke Bein und dann das rechte Bein getestet. Der größte Wert wurde als die jeweilige isometrische Maximalkraft definiert.

¹⁴⁸ Vgl. hierzu Schlumberger & Schmidtbleicher, 2000, S. 228.



Abbildung 26: Proband in Ausgangsposition vor der isometrischen Maximalkraftmessung

5.2.4 Kraftausdauer

Die Kraftausdauer wurde an dem Beinstrecker-Trainingsgerät der Marke SCHNELL durchgeführt. Das Testgewicht wurde hierbei an Hand des isometrischen Maximalkrafttests bestimmt. Der Krafttest wurde mit einem Gewicht durchgeführt, welches ca. 50% des gemessenen isometrischen Maximalkraftwertes betrug. Wurde beispielsweise eine isometrische Maximalkraft von 500 N ermittelt, so erfolgte der Kraftausdauer test mit 25 kg am SCHNELL-Trainingsgerät. Zur Überprüfung der Validität der Bestimmung der Belastungsintensität des Kraftausdauer tests auf Grund des isometrischen Maximalkrafttestes wurde bei sechs krafttrainingserfahrenen Probanden die unilaterale isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur nach dem in dieser Studie verwendeten Protokoll bestimmt (vgl. Tabelle 18).

Tabelle 18: Anthropometrische Daten der Kontrollgruppe zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der am Kraftmessstuhl erhobenen isometrischen Maximalkraft und der dynamischen Maximalkraft am SCHNELL-Beinstreckgerät

Proband	Geschlecht	Alter	Größe	Gewicht
K _{RM} -A	W	26	171	65,1
K _{RM} -B	M	40	189	84,6
K _{RM} -C	M	24	169	68,5
K _{RM} -D	M	34	183	83,6
K _{RM} -E	W	23	164	69,2
K _{RM} -F	W	29	174	58,7
\bar{x}		29,33	175,00	71,62
s		6,56	9,32	10,36

Anschließend wurde auf dem SCHNELL Krafttrainingsgerät ein unilateraler dynamischer Maximalkrafttest durchgeführt. Die Probanden führten hierbei zuerst mit dem linken Bein fünf WDH mit dem auch für die Kraftausdauerests genutzten Gewicht aus. Dann wurde das Gewicht nach Vorgabe der Probanden erhöht. Es wurde jeweils nur noch eine Wiederholung ausgeführt. Das maximal bewältigte Gewicht wurde als dynamisches Maximalkraftmaximum definiert. Dieses Verfahren wurde dann ebenfalls für das rechte Bein durchgeführt, und es wurde ebenfalls das dynamische Maximalkraftmaximum registriert.

Die folgende Tabelle zeigt das Verhältnis zwischen der am Kraftmessstuhl bestimmten isometrischer Maximalkraft und der dynamischen Maximalkraft am SCHNELL-Beinstreckgerät sowie den Zusammenhang zwischen dem prozentualen Anteil der dynamischen Maximalkraft des Kraftausdauerestgewichtes (vgl. Tabelle 19):

Tabelle 19: Vergleich der isometrischen Maximalkraftwerte (iso. MAX) am Kraftmessstuhl mit den dynamischen Maximalkraftwerten (dyn. MAX) am SCHNELL-Beinstreckgerät sowie das davon abgeleitete Kraftausdauer Testgewicht (KA Test) und das prozentuale Verhältnis dieses Gewichtes zur dynamischen Maximalkraft (% dyn. MAX)

	iso. MAX (N)	dyn. MAX (kg)	KA Test (kg)	% dyn. MAX
K _{RM} -A-Li	411	60,00	20,00	33,33
K _{RM} -A-Re	450	65,00	22,50	34,62
K _{RM} -B-Li	488	80,00	25,00	31,25
K _{RM} -B-Re	478	70,00	25,00	35,71
K _{RM} -C-Li	352	52,00	17,50	33,65
K _{RM} -C-Re	436	62,50	22,50	36,00
K _{RM} -D-Li	564	80,00	27,50	34,38
K _{RM} -D-Re	591	85,00	30,00	35,29
K _{RM} -E-Li	378	57,50	20,00	34,78
K _{RM} -E-Re	422	60,00	20,00	33,33
K _{RM} -F-Li	415	60,00	20,00	33,33
K _{RM} -F-Re	465	67,50	22,50	33,33
8	454,17	66,63	22,71	34,08
s	69,83	10,25	3,61	1,32

Die inferenzstatistische Überprüfung des Zusammenhangs zwischen den am Kraftmessstuhl erhobenen isometrischen Maximalkraftwerten und den am SCHNELL-Beinstreckgerät ermittelten dynamischen Maximalkraftwerten ergab einen nach Kendall berechneten höchst signifikanten ($p < 0,001$) Korrelationskoeffizienten von $\tau = 0,969$. Die hohe Korrelation zwischen den isometrischen und dynamischen Maximalkraftwerten sowie die geringe Spannweite der Prozentwerte (vgl. Tabelle 19) unterstreicht die Validität des eingesetzten Verfahrens zur Bestimmung der relativen Kraftausdauer.

Die Einstellungen des Beinstreckgerätes wurden für jeden Probanden notiert und sowohl für alle weiteren Kraftausdauer tests als auch für das Training reproduziert. Es wurde zuerst das linke Bein und dann das rechte Bein getestet. Die Probanden wurden verbal angewiesen, das Gewicht gleichmäßig mit mittlerem Bewegungstempo (Vorgabe 1 Sekunde für die konzentrische und 1 Sekunde für die exzentrische Phase) zu bewegen. Abbruchkriterien waren eine schwungvolle Bewegungsausführung sowie eine unvollständige Bewegungsausführung. Eine Steuerung der Bewegungsgeschwindigkeit durch ein Metronom wurde in Vortests überprüft, aber für die Hauptstudie verworfen. Es ergaben sich Probleme, wie sie auch in einer früheren Arbeit

(Lottmann, 2002, S. 75) festgestellt wurden. Es war den Probanden nicht möglich, sich ohne Einbußen bei der Bewegungsausführung an den durch das Metronom vorgegebenen Bewegungsrhythmus zu halten.

Die Methodik des Kraftausdauertests erscheint an Hand der gleichen Ausgangspositionen (Knie- bzw. Hüftgelenkwinkel ca. 90° bzw. 75°)¹⁴⁹, der isometrischen Messposition und der Startposition am Trainingsgerät gerechtfertigt. Zudem waren in Vortests Probleme bei der unilateralen Ausführung von Einwiederholungs-Tests zur Bestimmung des dynamischen Kraftmaximums am Beinstreckgerät aufgetreten. Mehrere Probanden hatten Schmerzen bei den Belastungen angegeben, die auch mehrere Tage nach den Maximalkrafttests noch anhielten.

Auf Grund dieser Problematik erschien eine Bestimmung des Gewichtes für den Kraftausdauer test an Hand der jeweils vorher gewonnenen isometrischen Maximalkraftwerte am Kraftmessstuhl als einzige Möglichkeit zur Bestimmung von relativen Kraftausdauerwerten¹⁵⁰.

Flock (1993) beschreibt in seiner Arbeit einen Zusammenhang zwischen einem isometrischen Maximalkrafttest auf einem Kraftmessstuhl und einem sportmotorischen Test der ventralen Beinstreckmuskulatur an einem Trainingsgerät: "Die Ergebnisse weisen einen hohen (und statistisch abgesicherten) Zusammenhang der meisten Variablen des Maschinentests mit dem sportmotorischen Test aus. Gleichzeitig repräsentieren dieselben Merkmale bei der statischen (90°) und bei der konzentrischen Kraft ($120^\circ/\text{sec}$) die Kriteriumsvariable sportmotorischer Test am deutlichsten" (Flock, S. 58).

5.2.5 Körpergewicht und Körperfettanteil

Die Probanden wurden auf einer Waage des Typs Tanita TBF-300 gemessen. Diese Waage ermittelt neben dem Körpergewicht mittels des Bioimpedanz-Messverfahrens, den Körperfettanteil der Probanden (vgl. S. 108).

¹⁴⁹ Die Angaben beziehen sich auf die Gelenkwinkelstellungen ausgehend von der Neutral-Null-Stellung. Die Neutral-Null-Stellung bezieht sich auf einen aufrechten Stand mit herabhängenden Armen in Semipronationsstellung und geschlossene parallel gehaltene Füße (Reimers, Harder, & Saxe, 1998).

¹⁵⁰ Der Begriff der relativen Kraftausdauerwerte bezieht sich auf das Verhältnis zur dynamischen Maximalkraft.

5.3 Krafttraining

Die Probanden führten ein Ganzkörperkrafttraining durch, da hierdurch die hormonelle Stoffwechselsituation der Trainierenden positiv beeinflusst wurde, und dies einer realen Trainingssituation eher entspricht als ein isoliertes Training der ventralen Oberschenkelmuskulatur¹⁵¹. Alle Trainingsgruppen führten ein Krafttraining mit folgenden sechs Übungen durch:

¹⁵¹ Vgl. Schlumberger, A., Stec, J., & Schmidtbleicher, D. (2001)

Tabelle 20: Trainingsübungen

Beinstrecken (unilateral)	
Beinbeuger (unilateral)	
Bankdrücken	
Latissimusziehen	
Crunches	
Extensions	

Es wurden in der ersten sechs Wochen jeweils 12-15 WDH pro Satz durchgeführt. In den zweiten 6 Wochen wurde ein Training mit jeweils 6-8

WDH pro Satz absolviert. Vor der eigentlichen Trainingsphase wurde eine Woche bis zu der subjektiven Belastung "mittel bis schwer" nach der siebenstufigen RPE-Skala nach Buskies und Boeckh-Behrens trainiert (vgl. Abbildung 4). In der eigentlichen Trainingsphase wurde jeder Satz bis zur Ausbelastung durchgeführt. Die Trainingshäufigkeit betrug 3 Trainingseinheiten pro Woche (vgl. Tabelle 16).

Der Proband sollte am Ende eines Satzes nicht mehr in der Lage sein, eine weitere willkürliche Wiederholung zu vollziehen. Das Gewicht, welches für eine Ausbelastung benötigt wurde, wurde auf Grund der Werte aus der einwöchigen Gewöhnungsphase für jedes Gerät bestimmt. Hierzu wurde jeder Proband bei seinem ersten Training (T1) aufgefordert, das Gewicht zu wählen, von dem er annahm, eine Wiederholungszahl von 12-15 WDH zu erreichen. War er in der Lage, mehr oder weniger Wiederholungen zu erreichen, wurde das Gewicht entsprechend reduziert bzw. erhöht. Die Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe reduzierten das Trainingsgewicht, um für alle 3 Sätze in dem Wiederholungszahlenbereich von 12-15 WDH zu bleiben.

War der Proband in der Lage, mehr als 15 (bzw. 8) WDH zu absolvieren, wurde das Gewicht erhöht. Diese Vorgaben galten nicht für die Übungen Crunches und Extensions. Diese Übungen wurden ohne Wiederholungszahlenvorgabe jeweils bis zur Ausbelastung durchgeführt.

5.3.1 Trainingsgruppe Mehrsatz

Die Mehrsatz-Trainingsgruppe führte mit den genannten Wiederholungszahlen (12-15 bzw. 6-8) jeweils 3 Sätze pro Übung durch. Die unilateralen Übungen wurden mit 3 Sätzen pro Bein, somit mit insgesamt 6 Sätzen, ausgeführt. Die Pausenlänge zwischen den Sätzen betrug jeweils ca. 2 Minuten. Es erfolgten keine zusätzlichen Pausen zwischen den Übungen außer der Zeit, die ohnehin durch den Wechsel des Trainingsgerätes entstand. Bei den unilateralen Übungen Beinstrecken und Beinbeuger folgten die Sätze des linken und des rechten Beines unmittelbar aufeinander. Die Pause zwischen den "Doppelsätzen" (1. Satz linkes Bein, 2. Satz rechtes Bein) betrug jeweils 1 Minute.

5.3.2 Trainingsgruppe Einsatz

Die Einsatz-Trainingsgruppe führte jeweils nur 1 Satz pro Übung bzw. 2 Sätze bei den unilateralen Übungen¹⁵² durch .

5.3.3 Trainingsgruppe High Intensity Training (HIT)

Die High Intensity Trainingsgruppe absolvierte, wie die anderen beiden Trainingsgruppen den ersten Satz jeder Übung bis zur subjektiven Erschöpfung. Unmittelbar im Anschluss an diesen Satz reduzierten die Probanden dieser Trainingsgruppe das Trainingsgewicht um 20 Prozent¹⁵³ und führten mit diesem reduzierten Gewicht so viele weitere Wiederholungen wie möglich durch.

5.4 Statistische Verfahren

Zur Datenverarbeitung sowie zur statistischen Auswertung wurden die Softwareprogramme Microsoft Excel 2003 und SPSS 12.0 eingesetzt. Die Überprüfung der 3 Trainingsgruppen auf Unterschiede des Parameters isometrische Maximalkraft zu Beginn der Trainingsstudie erfolgte mit dem H-Test nach Kruskal und Wallis (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 154-163).

Die Überprüfung der Zeitreihen auf Trends erfolgte mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 328-332; Sachs, 2002, S. 487-488) sowie dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart (vgl. Sachs, 2002, S. 487-488). Der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore überprüft die Zufälligkeit des Wechsels der Vorzeichen der Differenzen aufeinander folgender Messungen. Zu wenige Wechsel der Vorzeichenphase deuten auf einen monotonen Trend hin (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 328). Der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart überprüft eine Zeitreihe auf Trendänderung. Hierbei werden die Messwerte des ersten Drittels der Zeitreihe mit den Messwerten des letzten Drittels der Zeitreihe verglichen (vgl. Sachs, 2002, S. 487-488).

Zur Überprüfung etwaiger Zusammenhänge wurde die Rangkorrelation von Kendall bestimmt (Kendalls τ [tau]) (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S.

¹⁵² Jeweils einen Satz pro Seite.

¹⁵³ Nach Möglichkeit des Trainingsgerätes - Gewichtsabstufungen 2,5 - 5 kg; die Gewichtslast des Schnell-Beinstreckgerätes konnte in 2,5 kg Abstufungen eingestellt werden.

266-278). Dieses statistische Verfahren wurde gewählt, da auf Grund der niedrigen Fallzahlen nicht generell von den für die Produktmomentkorrelation nach Pearson notwendigen statistischen Voraussetzungen¹⁵⁴ ausgegangen werden konnte. Zudem weist Kendalls τ besonders für kleine Stichprobengrößen Vorteile gegenüber der Rangkorrelation von Spearman auf (vgl. Arndt, Turvey, & Andreasen, 1999).

Die Test-Retest-Reliabilität wurde mittels des Intraclass Correlation Coefficient (ICC) bestimmt. Der ICC berücksichtigt im Gegensatz zur Produktmomentkorrelation nach Pearson Kennwertänderungen (Mittelwerte, Standardabweichungen) zwischen Test und Retest (vgl. Goebel, 2002, S. 148-149).

Zusätzlich wurde für jede Trainingsgruppe für die Parameter isometrische Maximalkraft, Kraftausdauer und Muskeldicke der gemittelte Ausgangswert am Pre-Test2 mit dem jeweiligen Maximalwert der Gruppe der entsprechenden Zeitreihe auf signifikante Unterschiede verglichen. Die Prä-Post-Werte der Probanden K2-K5 der Kontrollgruppe¹⁵⁵ wurden ebenfalls auf signifikante Unterschiede überprüft¹⁵⁶. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass für jedes Bein (und nicht für jeden Probanden) ein Messwert bzw. mehrere Messwerte (Muskeldickenmessungen) erhoben wurden. In der Ergebnisdarstellung werden in jedem Kapitel kurz die eingesetzten statistischen Verfahren beschrieben.

5.5 Methodenkritik

Im Folgenden wird die Methodik dieser Untersuchung kritisch hinterfragt. Zudem wird die Wahl der eingesetzten Untersuchungsverfahren erläutert.

Studiendesign

Obschon Zeitreihenanalysen für Untersuchungen in der Trainingswissenschaft schon seit geraumer Zeit gefordert werden (vgl. Lames, 1996),

¹⁵⁴ Zum Beispiel Normalverteilung der Daten.

¹⁵⁵ Der Proband K1 der Kontrollgruppe wurde mit den identischen zeitreihenanalytischen Verfahren untersucht wie auch die Trainingsgruppen bzw. die Probanden der Trainingsgruppen.

¹⁵⁶ Auf Grund der geringen Fallzahl wurden verteilungsfreie Testverfahren eingesetzt (Wilcoxon Test; H - Test nach Kruskal und Wallis → U - Test von Mann-Whitney).

stellen entsprechende Untersuchungen dennoch die Ausnahme dar. Eine Recherche des Begriffes "Zeitreihe" in den Datenbanken des Bundesinstitutes für Sportwissenschaft (BISP)¹⁵⁷ ergab lediglich fünf Treffer, von denen nur drei trainingswissenschaftlichen Experimenten zuzuordnen waren¹⁵⁸. Die aktuellste nationale Untersuchung war ein Trainingsexperiment von Flock (1993) aus dem Jahre 1993.

Bortz und Döring (1995, S. 531) definieren den Begriff der Zeitreihe als "Ausprägungen einer Variablen, die in gleichen Zeitabständen wiederholt gemessen werden,...". Die vorliegende Studie entspricht dieser Definition, ohne jedoch ein Design mit Erhebungsphasen ohne Intervention (A-Phasen) und mit Intervention (B-Phasen) zu verwenden (vgl. Bortz & Döring, 1995, S. 544).

Der Kompromiss eines Zeitreihendesigns ohne eine interventionslose Erhebungsphase wurde gewählt, um die ohnehin schon enorme Beanspruchung der Probanden nicht zusätzlich zu erhöhen und trotzdem die Beobachtung der zeitlichen Entwicklung der untersuchten Parameter zu ermöglichen.

Messverfahren

Die Ultraschallmessungen wurden nicht mit dem in der Voruntersuchung eingesetzten Ultraschallgerät Siemens G40, sondern mit einem tragbaren Ultraschallgerät des Typs Fukuda Denshi UF4500 durchgeführt. Dieser Gerätewechsel war notwendig, da das mobile Ultraschallgerät in dem Fitnessstudio, in dem auch die Trainingsintervention stattfand, eingesetzt werden konnte. Dies war mit dem Siemens G40 Ultraschallgerät nicht möglich.

Die in einer Vergleichsmessung zwischen den beiden Ultraschallgeräten ermittelte höchst signifikante ($p < 0,001$) Korrelation von $\tau = 0,835$ (vgl. S. 133) sowie die in der Literatur belegte Eignung dieses Gerätes zur Vermessung von Skelettmuskulatur (vgl. Bembien, 2002) relativieren die Bedeutung dieses Gerätewechsels. Eine Muskelquerschnittsmessung bzw. eine Muskel-

¹⁵⁷ Es wurde nach Treffern für den Begriff "Zeitreihe" in den Datenbanken Spolit, Spofor und Spomedia über das Web-Interface des BISP (<http://www.bisp-datenbanken.de/index.html>) am 05.06.2005 um 13 Uhr gesucht.

¹⁵⁸ Flock, 1993, Grecanikov, 2001 und Mester, Mader, Ritzdorf, & Geist, 1990.

volumenbestimmung des M. quadrizeps femoris war mit den zur Verfügung stehenden Geräten nicht möglich.

Die isometrische Maximalkraft wurde auf einem Kraftmessstuhl und nicht auf dem Beinstreckgerät, auf dem das Training durchgeführt wurde, gemessen. Eine wöchentliche Bestimmung des dynamischen unilateralen Kraftmaximums war auf Grund der bereits beschriebenen Probleme nicht möglich (vgl. Seite 140). Die identischen Kniegelenk- und Hüftgelenkwinkel zwischen dem Trainings- und Testgerät von 90° bzw. 75° sowie die in dem Vergleichstest ermittelte höchstsignifikante ($p < 0,001$) Korrelation von $r = 0,969$ zwischen dem Einerwiederholungsmaximum auf dem Trainingsgerät und der auf dem Kraftmessstuhl ermittelten isometrischen Maximalkraft bestätigen jedoch die Eignung des eingesetzten Kraftmessverfahrens (vgl. Seite 139).

Da aus den genannten Gründen eine wiederholte Messung der dynamischen Maximalkraft nicht möglich war, erfolgte die Wahl des für den Kraftausdauerstest zu verwendenden Gewichtes basierend auf dem gemessenen isometrischen Maximalkraftwert. Hierbei wurde mit ca. 34% des dynamischen Maximums (vgl. S. 139) ein relativ geringes Gewicht eingesetzt.

Die Probanden erzielten in den Kraftausdauerstests in dieser Studie Wiederholungszahlen zwischen 10 und 55. Bei einer vorgegebenen Bewegungsgeschwindigkeit von einer Sekunde für die konzentrische und einer Sekunde für die exzentrische Phase ergaben sich, selbst bei der in den Kraftausdauerstests erreichten maximalen Wiederholungszahl von 55, eine Belastungsdauer von unter 2 Minuten. Somit entsprachen die Kraftausdauerstests den von Schmidtbleicher (1989) in seiner Definition genannten Kriterien (vgl. S. 14).

Die Kritik an der Bestimmung des Körperfettgehaltes mit Hilfe der bioelektrischen Impedanzanalyse wurde bereits auf Seite 108 formuliert. Alternative Verfahren der Bestimmung der Körperzusammensetzung, beispielsweise hydrostatische Verfahren, die eine wesentlich exaktere Bestimmung der Körperzusammensetzung ermöglichen (vgl. S. 105), standen nicht zur Verfügung und wären bei dem eingesetzten Zeitreihendesign nur schwer einsetzbar gewesen.

Die Ernährung der Probanden konnte nicht standardisiert werden und stellte somit eine Störvariable von erheblichen Einfluss auf die Parameter Körpergewicht und prozentualer Körperfettanteil dar.

Statistik

Da die hier eingesetzten Zeitreihen weniger als 50 Messpunkte besaßen, wurde auf eine Analyse mittels des Box-Jenkins-Modell verzichtet (vgl. Bortz & Döring, 1995, S. 545). Alternativ wurde die Zufälligkeit der Zeitreihen mit den Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore bestimmt (vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 328). Eine Trendüberprüfung erfolgte mit dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart¹⁵⁹.

Die inferenzstatistische Untersuchung der maximalen Veränderungen der primären Parameter Muskeldicke, isometrische Maximalkraft und Kraftausdauer mit Hilfe der genannten nichtparametrischen Verfahren (vgl. S. 145) muss auf Grund der geringen Gruppengrößen und der individuellen Wertung der Parameter für jedes Bein kritisch betrachtet werden¹⁶⁰.

¹⁵⁹ Vgl. Sachs (2002, S. 487-489) und Cox und Stuart (1955).

¹⁶⁰ Es wurde auf eine Bonferroni-Korrektur verzichtet (vgl. Perneger, 1998).

6 Ergebnisse

Von den 17 Probanden der drei Trainingsgruppen wurden 11 in die abschließende Analyse aufgenommen. Die Gründe für den Ausschluss der übrigen sechs Probanden lagen in der unregelmäßigen Trainingsteilnahme (5 Teilnehmer) bzw. in gesundheitlichen Problemen¹⁶¹ (1 Proband). Einschlusskriterium für die Aufnahme in die abschließende Analyse war eine Trainingsbeteiligung von mehr als 85%¹⁶² der Trainingseinheiten und das Auslassen maximal eines Testtermins.

Der in dieser Studie gewählte Wert von absolvierten Trainingseinheiten (85% aller Trainingseinheiten) ist sowohl in nationalen (Kemmler, Lauber, Engelke, & Weineck, 2004)¹⁶³, als auch in internationalen Krafttrainingsstudien (Hass et al., 2000) gebräuchlich. Von den 165 zu absolvierenden Testterminen wurden sechs Termine nicht wahrgenommen.

Die Probanden K2-K5 der Kontrollgruppe absolvierten ihre beiden Tests. Der Proband K1 der Kontrollgruppe absolvierte über den Zeitraum von 12 Wochen 12 der 13 vorgesehenen Testtermine. Die auf Grund von nicht absolvierten Testterminen fehlenden Werte wurden durch lineare Interpolation ermittelt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt.

Die individuellen Veränderungen werden für die untersuchten Parameter exemplarisch an den Probanden P11 (Dreisatz-Trainingsgruppe), P9 (HIT-Trainingsgruppe) und P3 (Einsatz-Trainingsgruppe) dargestellt. Die Probanden wurden zufällig ausgewählt (Los). Im Einzelfall werden in den Ergebnissen neben der Parameterdarstellung der Probanden P11, P9 und P3 die Werte weiterer Probanden grafisch dargestellt, um beispielsweise extreme Parameterveränderungen zu beschreiben. Die Ergebnisse aller Probanden sind im Anhang C1-C5 zu finden.

¹⁶¹ Die gesundheitlichen Probleme standen in keinem Zusammenhang mit der Studie.

¹⁶² Bei 36 Trainingseinheiten entsprach dies einem Fehlen bei sechs oder mehr Trainingseinheiten. Die Teilnehmer konnten auch mehrere Trainingseinheiten in Folge fehlen, solange die Grenze von 85% Trainingsbeteiligung nicht unterschritten wurde.

¹⁶³ Kemmler et al. (2004) wählten einen Wert von 83%: "Only subjects who, in both high-intensity periods, participated in at least 20 joint training sessions each were included in the analysis. Given a maximum of 24 joint training sessions, this corresponds to a training attendance of 83%" (S. 690).

Inferenzstatistische Verfahren

Zur Überprüfung etwaiger Unterschiede der mittleren absoluten und relativen isometrischen Maximalkraftwerte der in die finale Analyse einbezogenen drei Trainingsgruppen wurde der nichtparametrische H-Test nach Kruskal und Wallace für die Überprüfung von mehr als zwei unabhängigen Stichproben gewählt.

Die Tests ergaben einen nicht signifikanten Wert von $p=0,499$ ($\chi^2=6,801$, $df=2$) für die absoluten isometrischen Maximalkraftwerte und $p=0,186$ ($\chi^2=3,367$, $df=2$) für die isometrischen Maximalkraftwerte im Verhältnis zum Körpergewicht. Sie bestätigen somit, dass sich die in die finale Analyse einbezogenen Gruppen bezüglich des Merkmals der absoluten und relativen isometrischen Maximalkraft zu Beginn der Studie nicht unterscheiden.

6.1 Maximalkraft

Die folgenden Abschnitte beschreiben jeweils die isometrischen Maximalkraftwerte des linken und des rechten Beins. Die Kraftwerte des Pre-Testes 1 werden nur bei der zusammengefassten Maximalkraftentwicklung aller Gruppen und nicht bei den gruppenspezifischen bzw. individuellen Betrachtungen berücksichtigt. Hierdurch wird eine Abgrenzung der eigentlichen Trainingseffekte der Trainingsintervention von kurzfristigen Lerneffekten, die in der einwöchigen Kraftgewöhnungsphase auftraten, ermöglicht. Die gesamten isometrischen Maximalkraftwerte sind in Anhang C1 zu finden.

6.1.1 Zusammengefasste Maximalkraftentwicklung aller Trainingsgruppen

In den Grafiken (vgl. Abbildung 27-Abbildung 29) werden die zusammengefassten Maximalkraftentwicklungen aller 11 Probanden über den Trainingszeitraum von 12 Wochen sowie den Pre- und Post-Tests dargestellt.

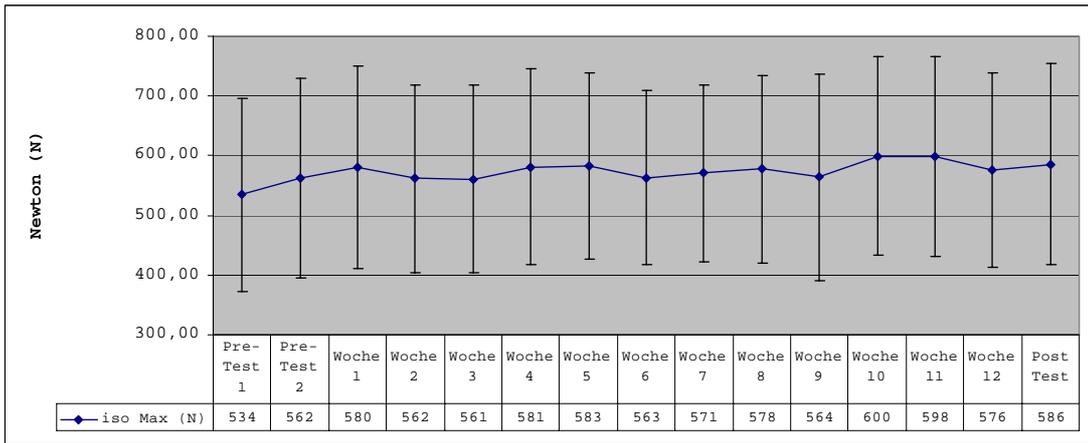


Abbildung 27: Isometrische Maximalkraftentwicklung (iso Max) aller Probanden in Newton (N) – linkes Bein

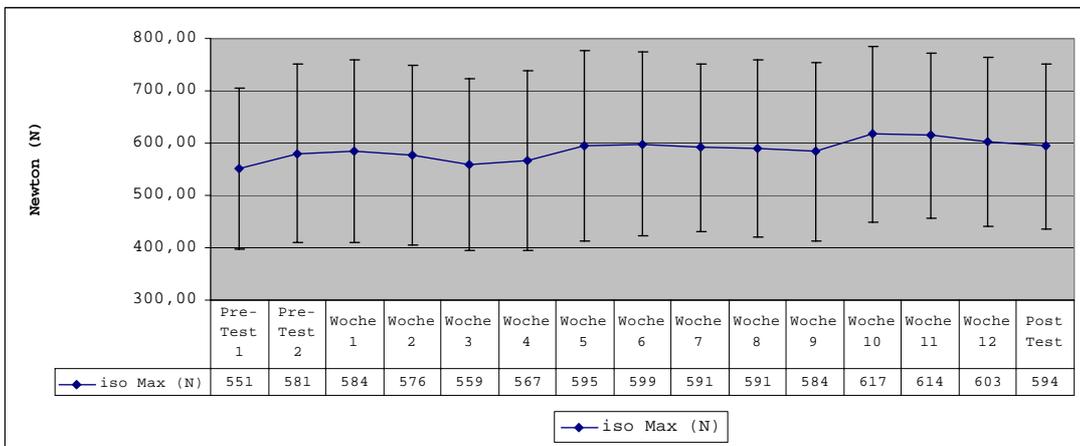


Abbildung 28: Isometrische Maximalkraftentwicklung (iso Max) aller Probanden in Newton (N) – rechtes Bein

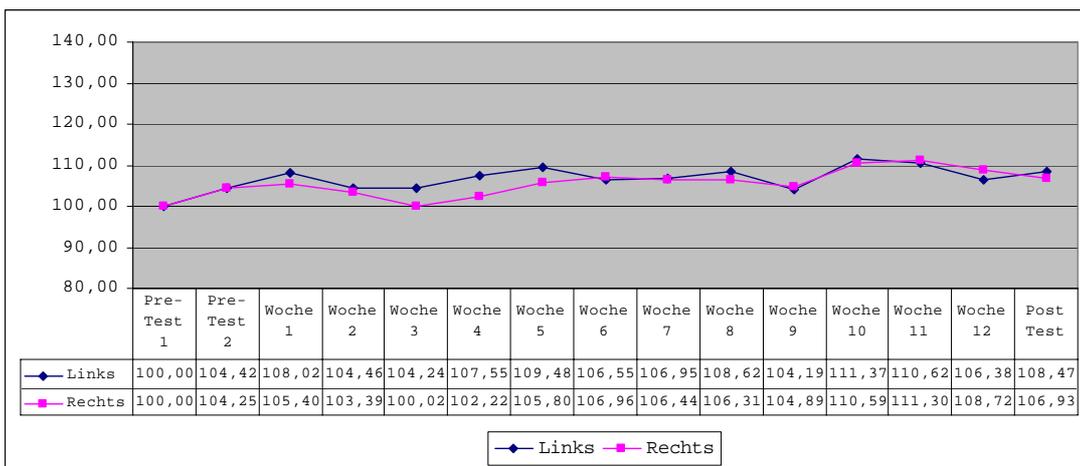


Abbildung 29: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung aller Probanden – linkes und rechtes Bein

Bei Zusammenfassung aller Probanden ergab sich über den Zeitraum von 14 Wochen eine Steigerung der isometrischen Maximalkraft von maximal 11,37% ($\pm 12,69$) für das linke Bein und von 11,30% ($\pm 8,96$) für das rechte Bein. Dieses Maximum wurde nach Abschluss der 10. Trainingswoche bzw. der 11. Trainingswoche gemessen. Wird der erste Maximalkrafttest Pre-Test 1 nicht mit einbezogen, ergeben sich maximale Kraftzuwächse von 6,84% ($\pm 10,87$) für das linke Bein und 7,21% ($\pm 10,85$) für das rechte Bein.

Inferenzstatistische Verfahren

Zur Überprüfung des Grades der Beziehung zwischen den isometrischen Maximalkraftwerten beider Beine wurde für die Zeitreihen die Rangkorrelation nach Kendall berechnet.

Korrelation

Die Korrelation der ermittelten isometrischen Maximalkraftwerte des linken und des rechten Beines ergab eine hoch signifikante ($p=0,003$) Korrelation der Messwerte von $\tau=0,580$. Die Korrelation wurde für die Werte über den gesamten Untersuchungszeitraum bestimmt.

6.1.2 Maximalkraftentwicklung der Trainingsgruppen

Die folgenden Abbildungen zeigen die Maximalkraftentwicklung der einzelnen Gruppen (vgl. Abbildung 30-Abbildung 32). Hierbei wurden die Daten beider Beine zusammengefasst. Bei der Betrachtung der Entwicklung der absoluten isometrischen Kraftwerte muss generell die geschlechtsspezifische Verteilung der in die Endanalyse einbezogenen Trainingsgruppen beachtet werden. Die Dreisatz- und Einsatz-Trainingsgruppe sind mit jeweils zwei männlichen und einem weiblichen Probanden vergleichbar. Die absoluten Kraftwerte der HIT-Trainingsgruppe sind auf Grund der geschlechtsspezifischen Zusammensetzung von zwei männlichen und drei weiblichen Probanden nur bedingt vergleichbar.

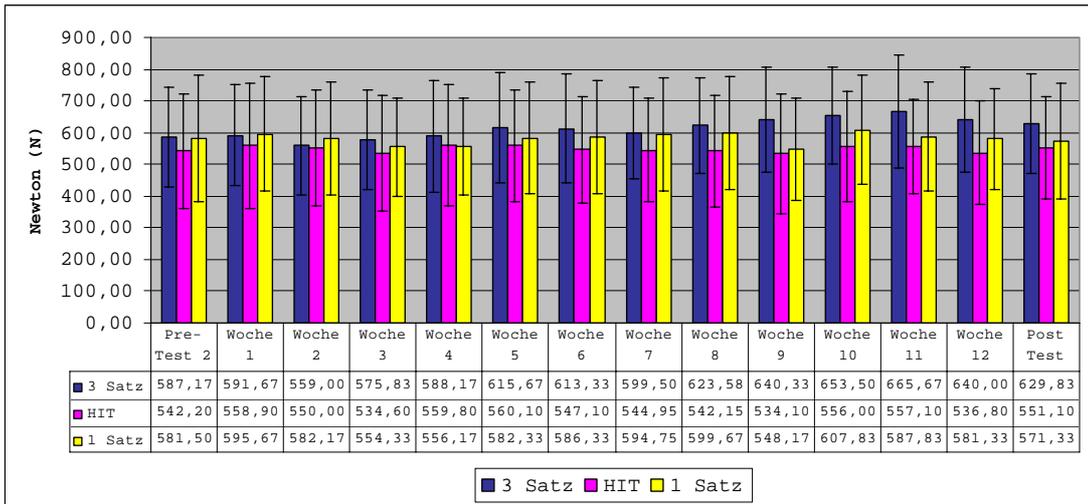


Abbildung 30: Gruppenspezifische isometrische Maximalkraftentwicklung (Newton)

Abbildung 31 stellt die isometrische Maximalkraftentwicklung im Verhältnis zum Körpergewicht dar. Die prozentuale Veränderung der isometrischen Maximalkraftwerte ist ebenfalls geschlechtsunspezifisch und wird in Abbildung 32 dargestellt.

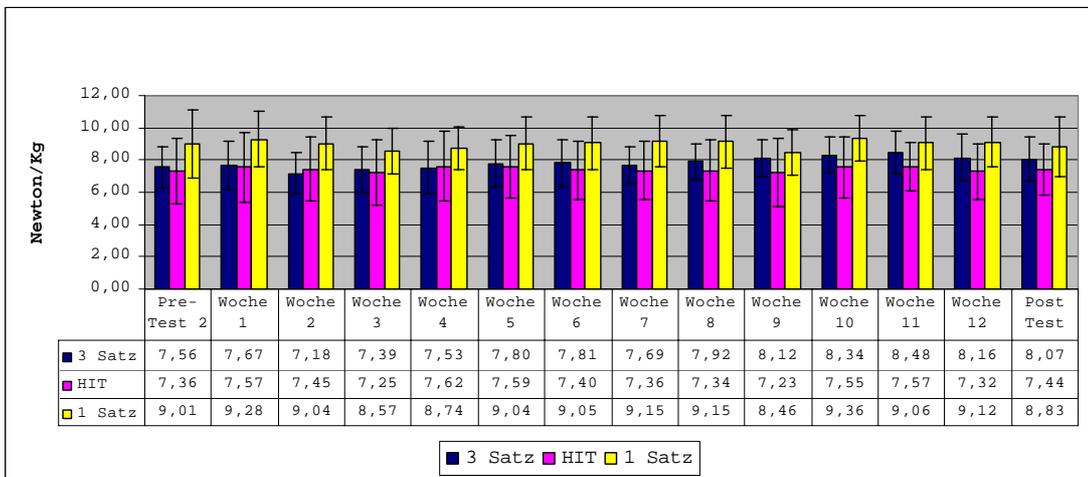


Abbildung 31: Vergleich der isometrischen Maximalkraftgewinne im Verhältnis zum Körpergewicht (Newton/kg)

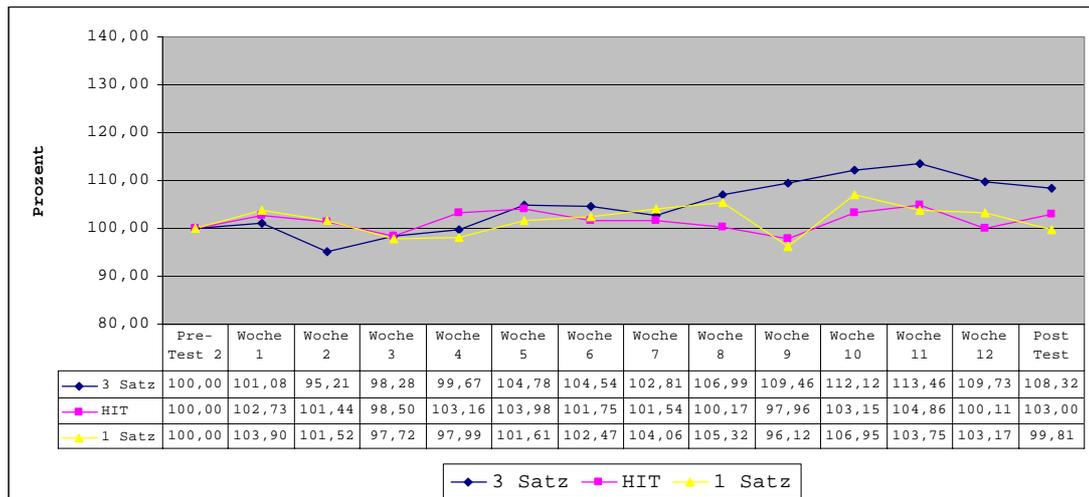


Abbildung 32: Gruppenspezifische prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung

Die Dreisatz-Trainingsgruppe zeigte die größten prozentualen isometrischen Kraftzuwächse nach der 11. Woche mit 13,46% ($\pm 6,42$). Die Einsatz-Trainingsgruppe erreicht den maximalen Zuwachs der prozentualen isometrischen Maximalkraft von 6,95% ($\pm 10,95$) nach der 10. Woche. Die HIT-Trainingsgruppe erreicht den maximalen Zuwachs der prozentualen isometrischen Maximalkraft nach der 11. Woche mit 4,86% ($\pm 10,88$).

Inferenzstatistische Verfahren

Die gruppenspezifische Entwicklung der isometrischen Maximalkraft wurde mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart überprüft.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore

Der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore ergab für die Dreisatz- und die Einsatz-Trainingsgruppe eine signifikante Abweichung der zufälligen Variation der isometrischen Maximalkraftwerte der Zeitreihen von $p=0,044$. Der p -Wert der Dreisatz und der HIT-Trainingsgruppe betrug $p=0,153$.

Tabelle 21: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Wallis und Moore)

	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
Dreisatz- Trainingsgruppe	6	p=0,044*
HIT- Trainingsgruppe	7	p=0,153
Einsatz- Trainingsgruppe	6	p=0,044*

* Signifikant ($p < 0,05$)

Trendtest von Cox und Stuart

Die Überprüfung der Zeitreihen auf Trendänderungen mit dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ergab folgende Ergebnisse (vgl. Tabelle 22):

Tabelle 22: Überprüfung gruppenspezifischer Trends der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Cox und Stuart)

	+	-	=	z	p
Dreisatz- Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*
HIT-Trainingsgruppe	2	3	0	0,154	0,881
Einsatz- Trainingsgruppe	4	1	0	1,080	0,280

* Signifikant ($p < 0,05$)

Nur bei der Dreisatz-Trainingsgruppe ist ein signifikanter positiver Trend ($p=0,044$) zu erkennen

6.1.3 Maximalkraftentwicklung der einzelnen Probanden

Im Folgenden werden die individuellen Veränderungen der isometrischen Maximalkraft im Verlaufe der Studie dargestellt. Die gesamten isometrischen Maximalkraftwerte und Abbildungen der einzelnen Probanden werden im Anhang C1 aufgeführt.

Die Zeitreihen der Probanden P11 (Dreisatz-Trainingsgruppe), P9 (HIT-Trainingsgruppe) und P3 (Einsatz-Trainingsgruppe) zeigen nur geringe Veränderungen der Maximalkraft. Hierbei erreicht der Proband P11 den maximalen Kraftzuwachs mit 20,70% nach der 11. Trainingswoche (vgl. Abbildung 33).

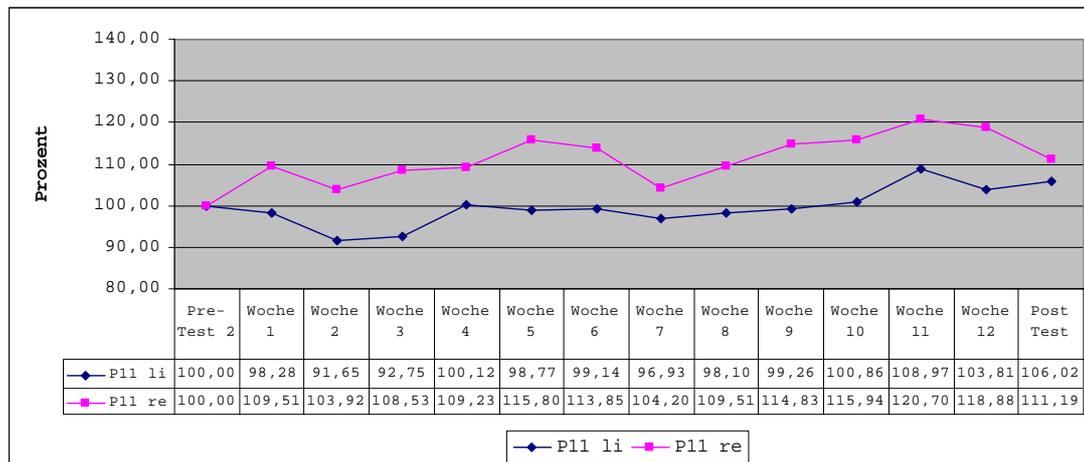


Abbildung 33: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P11 (3 Satz)

Die Probanden P9 und P3 erreichen maximale Kraftgewinne von 13,67% (4. Trainingswoche) und 9,44% (8. Trainingswoche) (vgl. Abbildung 34 und Abbildung 35).

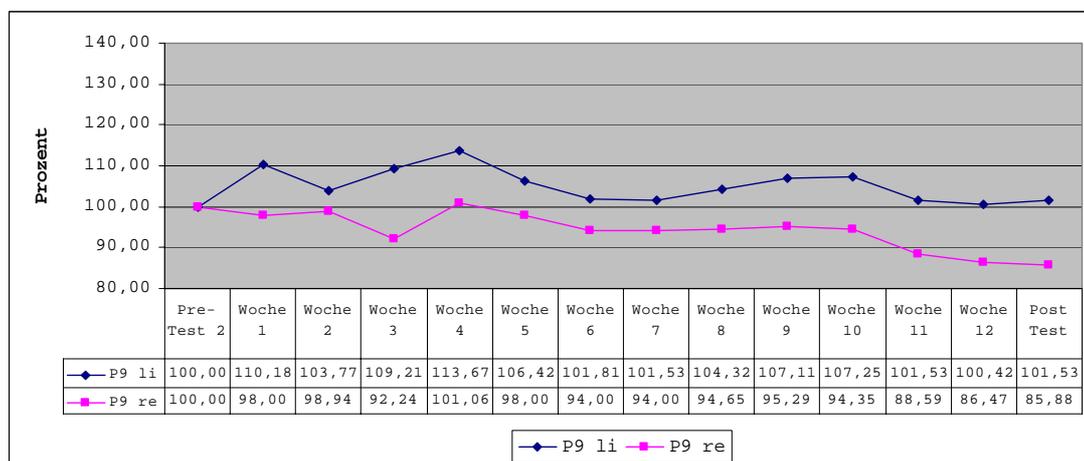


Abbildung 34: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P9 (HIT)

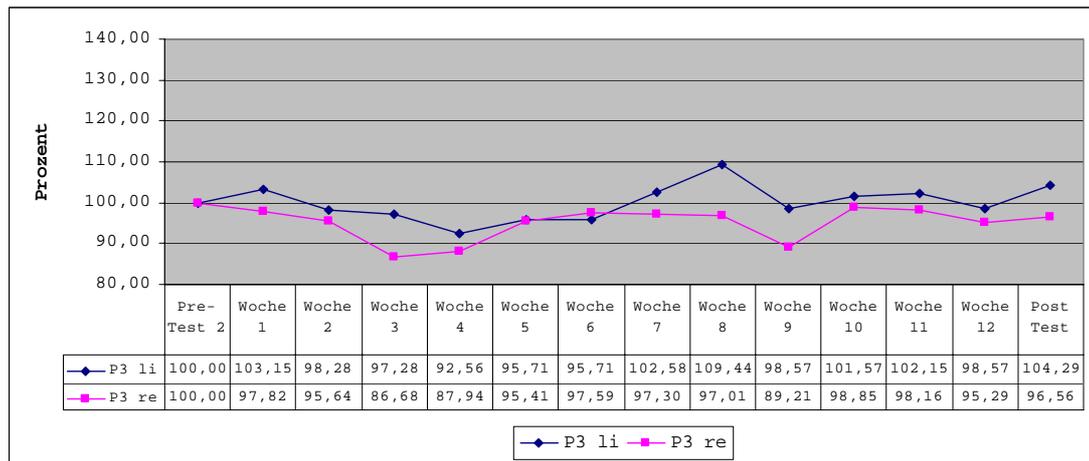


Abbildung 35: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P3 (1 Satz)

Insgesamt sind bei allen 11 Probanden Verbesserungen der isometrischen Maximalkraftwerte von bis zu 31,96% festzustellen (Probandin P12 – Einsatz-Trainingsgruppe, 12. Woche).

Inferenzstatistische Verfahren

Die Überprüfung der individuellen Maximalkraftentwicklungen erfolgte mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore (vgl. Anhang C1)

Die Überprüfung der individuellen Entwicklung der isometrischen Maximalkraftwerte mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore zeigt für den Probanden P2 (Dreisatz-Trainingsgruppe) ein hoch signifikantes Ergebnis für die isometrische Maximalkraftentwicklung des linken Beines ($p=0,008$). Proband P11 (Dreisatz-Trainingsgruppe) zeigt für beide Beine signifikante Abweichungen von der Zufällsmäßigkeit ($p=0,044$) der Messwerte. Damit belegt dieser Test, dass es sich nicht um eine zufällige Veränderung der isometrischen Maximalkraftwerte handelt, sondern dass die Veränderungen systematisch erfolgen. Entsprechende Abweichungen ($p=0,044$) von der Zufälligkeit weisen auch die isometrischen Maximalkraftwerte des rechten Beines von Proband P5 (HIT-Trainingsgruppe) und Proband P16 (HIT-Trainingsgruppe) auf.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass dieser Test überprüft, ob "...die Vorzeichen der Differenzen aufeinander folgender Messwerte zufällig (H_0) oder systematisch (H_1) variieren" (Bortz & Lienert, 2003, S. 328). Ein signifikanter p-Wert belegt also **nicht** automatisch einen positiven Trend. Besonders deutlich wird dies bei Betrachtung der Maximalkraftentwicklung des rechten Beines von Proband P5 (vgl. Abbildung 36 und Anhang C1).

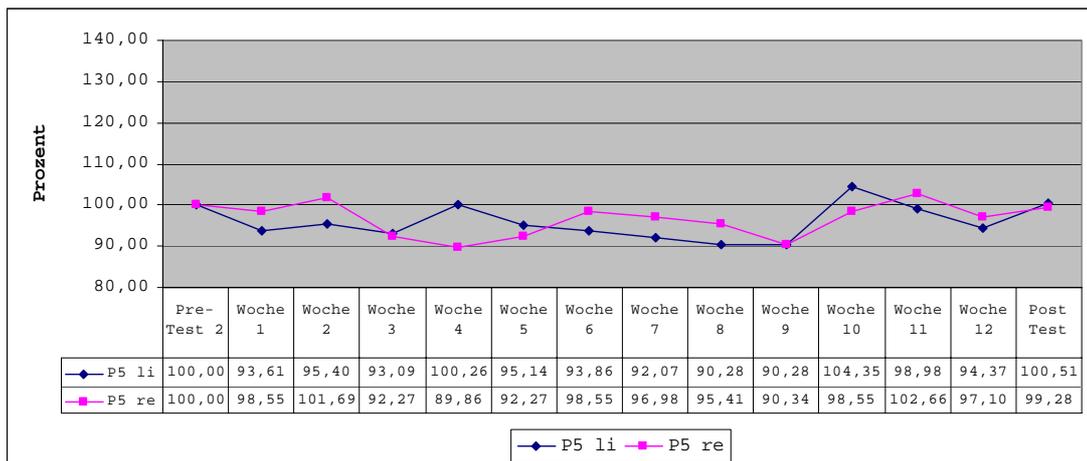


Abbildung 36: Prozentuale Isometrische Maximalkraftentwicklung P5 (HIT)

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart (vgl. Anhang C1)

Von den sechs Messwertreihen der isometrischen Maximalkraft der Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe weisen vier einen signifikant positiven Trend ($p=0,044$) auf. Lediglich die Messwertreihen der isometrischen Maximalkraftwerte des linken Beines der Probanden P2 und P11 verfehlen die Signifikanzgrenze ($p=0,280$; $p=0,280$).

Von der Messwertreihen der HIT-Trainingsgruppe weist der Proband P16 für beide Beine einen signifikant positiven Trend von $p=0,044$ auf. Auch Proband P10 zeigt für die Messwertreihe des rechten Beines einen signifikant positiven Trend ($p=0,044$) bei der Maximalkraftentwicklung. Somit ist bei 3 von 10 Messwertreihen der HIT-Trainingsgruppe ein signifikant positiver Trend festzustellen. Allerdings ergibt der Vorzeichen-Trendtest für die Messwertreihe des rechten Beines eines Probanden (P9) der HIT-Trainingsgruppe einen signifikant negativen Trend ($p=0,044$).

Lediglich eine von sechs Messwertreihen der Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe zeigt einen signifikant positiven Trend. Die Überprüfung der

Messwertreihe des linken Beines des Probanden P12 ergibt einen signifikant positiven Trend ($p=0,044$).

6.1.4 Zusammenfassende Beschreibung der Maximalkraftentwicklung

Die gruppenspezifische Darstellung zeigt größere isometrische Kraftgewinne der Mehrsatz-Trainingsmethode gegenüber der Einsatz- und der HIT-Trainingsmethode (vgl. Abbildung 32). Nur die Mehrsatz-Trainingsmethode zeigt einen signifikant positiven Wachstumstrend der isometrischen Maximalkraft (vgl. S. 155)

Allerdings können auch die Einsatz- und Hit-Trainingsmethode zu bedeutenden Kraftzuwächsen führen, wie die Entwicklung der isometrischen Maximalkraft von Proband P12 (Einsatz-Trainingsgruppe) und P16 (HIT-Trainingsgruppe) zeigen (vgl. Anhang C1).

6.2 Kraftausdauer

Die folgenden Abschnitte beschreiben jeweils die Kraftausdauer beider Beine. Da der erste Kraftausdauer-Test (Pre-Test 2) nach der einwöchigen Kraftgewöhnungsphase erhoben wurde, und der Test an dem Trainingsgerät (SCHNELL-Beinstrecker) durchgeführt wurde, war eine Beeinflussung durch kurzfristige Lerneffekte nicht zu erwarten. Die gesamten Kraftausdauerwerte sind in im Anhang C2 zu finden.

6.2.1 Zusammengefasste Kraftausdauerentwicklung aller Trainingsgruppen

In den Grafiken werden die zusammengefassten Kraftausdauerentwicklungen aller 11 Probanden über den Trainingszeitraum von 12 Wochen sowie dem Pre-Test 2 und dem Post-Test dargestellt.

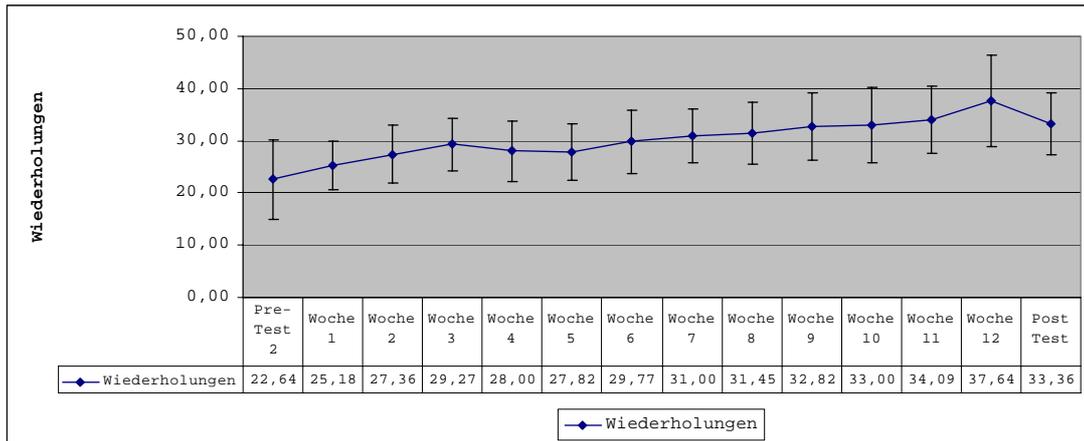


Abbildung 37: Kraftausderentwicklung aller Probanden (WDH) – linkes Bein

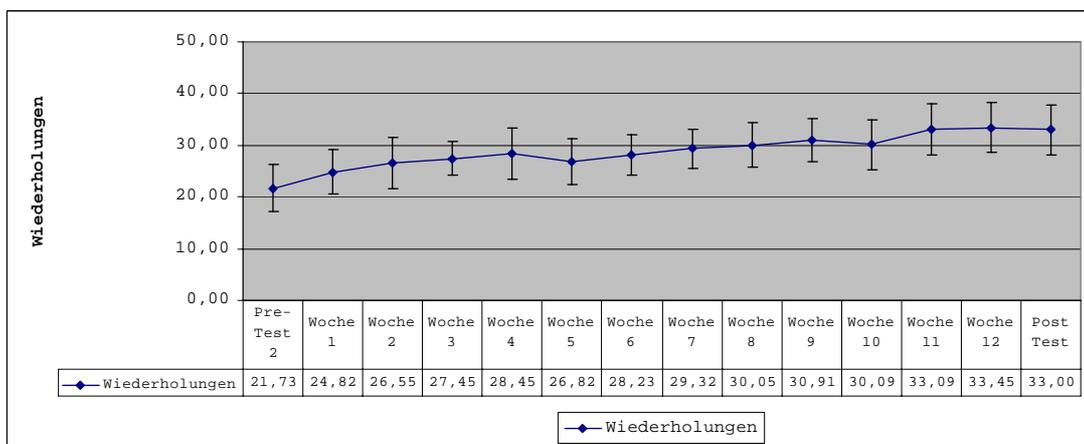


Abbildung 38: Kraftausdauerentwicklung aller Probanden (WDH) – rechtes Bein

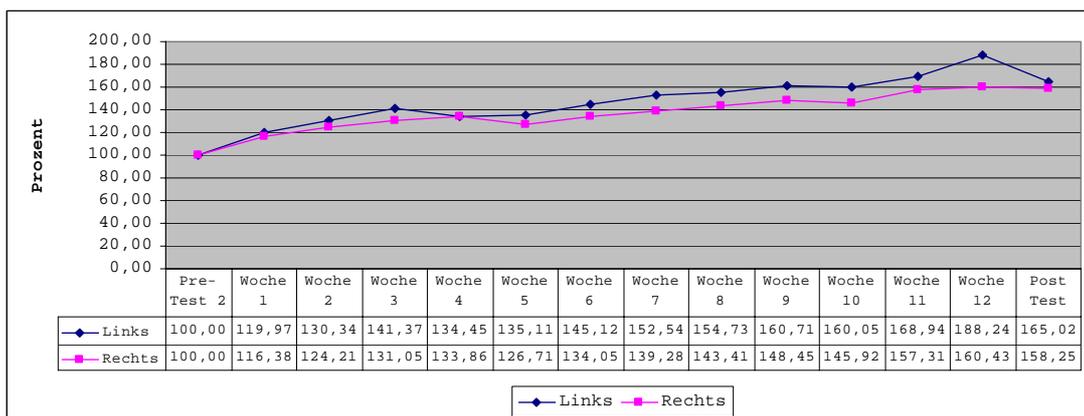


Abbildung 39: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung aller Probanden – linkes und rechtes Bein

Wie bei der isometrischen Maximalkraftentwicklung ist auch bei der Betrachtung der gepoolten Kraftausdauerdaten eine parallele Entwicklung beider Beine festzustellen. Die maximalen Zuwächse der Kraftausdauer

fallen mit 88,24% ($\pm 93,35$) beim linken und 60,43% ($\pm 41,16$) beim rechten Bein wesentlich größer aus als die Zuwächse der isometrischen Maximalkraft (vgl. Abbildung 29).

Inferenzstatistische Verfahren

Der Zusammenhang zwischen der Kraftausdauerentwicklung beider Beine wurde mittels der Rangkorrelation nach Kendall überprüft.

Korrelation

Die Entwicklung der Kraftausdauerwerte des linken und des rechten Beines korreliert mit einem Wert von $\tau=0,900$ höchst signifikant ($p<0,001$). Die Korrelation wurde für die Werte über den gesamten Untersuchungszeitraum bestimmt.

6.2.2 Kraftausdauerentwicklung der Trainingsgruppen

Die folgenden Abbildungen zeigen die Kraftausdauerentwicklung der Trainingsgruppen. Es wurden die Werte beider Beine zusammengefasst. Die Abbildung 40 stellt hierbei die erreichten Wiederholungszahlen bei der Gewichtsbelastung von ca. 34% des dynamischen Einerwiederholungsmaximums dar (vgl. Tabelle 19).

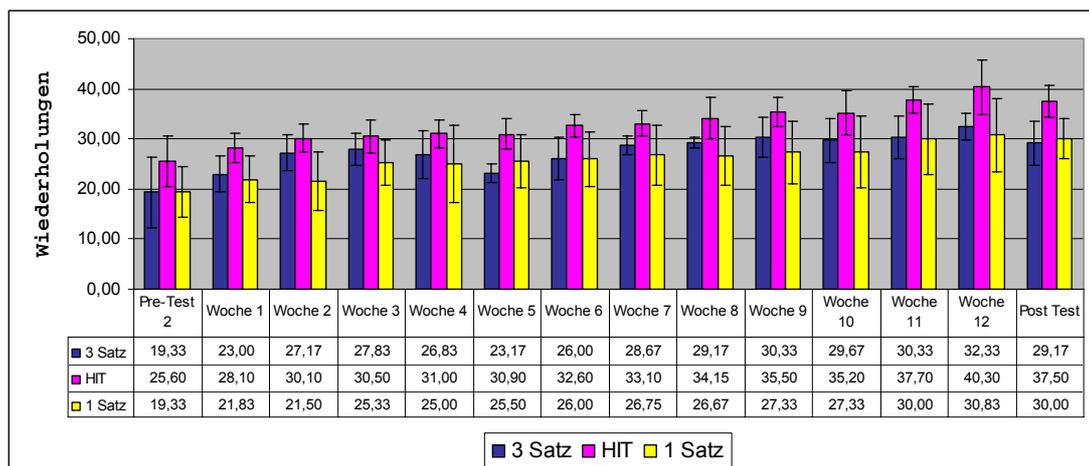


Abbildung 40: Gruppenspezifische Kraftausdauerentwicklung

Die Abbildung 41 zeigt die prozentuale Kraftausdauerentwicklung der Trainingsgruppen.

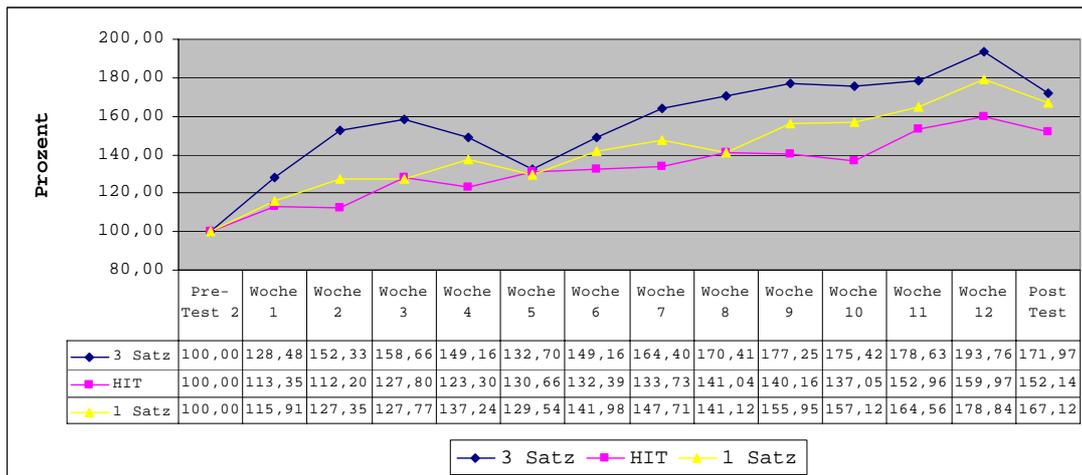


Abbildung 41: Gruppenspezifische prozentuale Kraftausdauerentwicklung

Beide Abbildungen zeigen den deutlichen Anstieg der Kraftausdauer über den Trainingszeitraum (vgl. Abbildung 40 und Abbildung 41). Die Dreisatz-Trainingsgruppe erreicht hierbei den höchsten prozentualen Zuwachs aller Trainingsgruppen mit 93,76% ($\pm 101,98$), die Einsatz-Trainingsgruppe erreicht einen maximalen prozentualen Zuwachs von 78,84% ($\pm 87,95$) und die HIT-Trainingsgruppe erreicht einen maximalen prozentualen Kraftausdauerzuwachs von 59,97% ($\pm 38,31$). Die maximalen Zuwächse werden im Gegensatz zur isometrischen Maximalkraft von allen Gruppen nach der 12. Trainingswoche gemessen (vgl. Abbildung 32).

Inferenzstatistische Verfahren

Die gruppenspezifische Entwicklung der Kraftausdauer wurde, analog zu der Analyse der isometrischen Maximalkraft, mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore¹⁶⁴ und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart¹⁶⁵ überprüft.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore

Der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore ergab für die Dreisatz- und die HIT-Trainingsgruppe eine signifikante ($p=0,05$) Abweichung der zufälligen Variation der Kraftausdauerwerte der Zeitreihen von $p=0,04$. Der p -Wert der Einsatz-Trainingsgruppe betrug $p=0,85$.

¹⁶⁴ Vgl. Bortz & Lienert, 2003, S. 328-332.

¹⁶⁵ Vgl. Sachs, 2002, S. 487-489 und Cox und Stuart, 1955.

Tabelle 23: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenwechsel (Wallis und Moore)

	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
Dreisatz- Trainingsgruppe	6	p=0,044*
HIT- Trainingsgruppe	6	p=0,044*
Einsatz- Trainingsgruppe	10	p=0,846

* Signifikant ($p < 0,05$)

Trendtest von Cox und Stuart

Die Überprüfung der Zeitreihen auf Trendänderungen mit dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ergab folgende Ergebnisse (vgl. Tabelle 23):

Tabelle 24: Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Kraftausdauer (Cox und Stuart)

	+	-	=	z	p
Dreisatz- Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*
HIT-Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*
Einsatz- Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*

* Signifikant ($p < 0,05$)

Bei allen drei Trainingsgruppen war ein signifikanter positiver Trend ($p=0,044$) zu erkennen.

6.2.3 Kraftausdauerentwicklung der einzelnen Probanden

In diesem Abschnitt wird die individuelle Entwicklung der Kraftausdauer im Verlauf der Studie beschrieben. Die gesamten Kraftausdauerwerte und Abbildungen sind im Anhang C2 zu finden. Die hier genutzte einheitliche Skalierung von 0-400% wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit der individuellen Kraftausdauerentwicklungen zu gewährleisten. Die geringen sichtba-

ren Veränderungen der Zeitreihen werden durch die numerischen Angaben in den jeweiligen Datentabellen kompensiert.

Der Proband P11 (Dreisatz-Trainingsgruppe – vgl. Abbildung 42) zeigt für das linke Bein einen maximalen Kraftausdauerzuwachs von 65% bereits nach der dritten Trainingswoche.

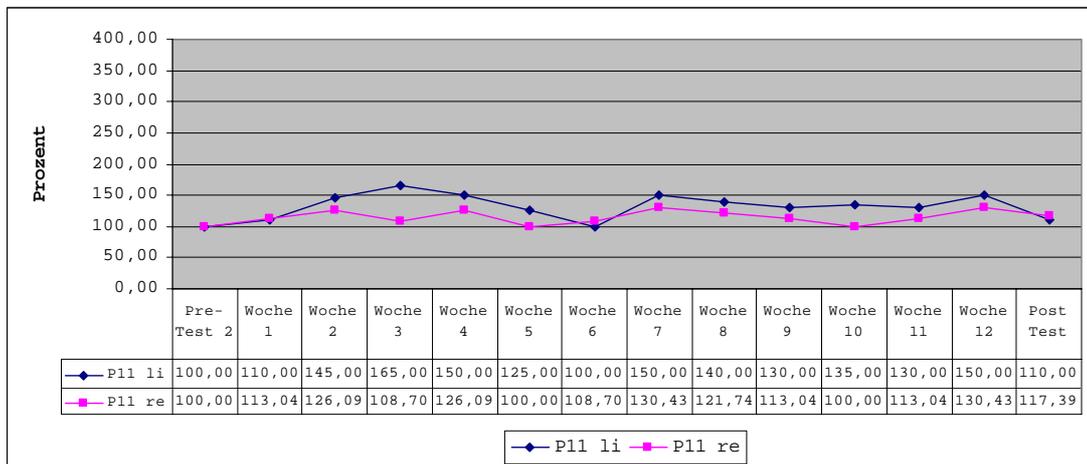


Abbildung 42: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P11 (3 Satz)

Die Probanden P9 (HIT-Trainingsgruppe) und P3 (Einsatz-Trainingsgruppe) erreichen ihren maximalen Kraftausdauerzuwachs nach der 12. Trainingswoche. Der Proband P3 erreicht mit einem maximalen Kraftausdauerzuwachs von 243,75% den höchsten Wert (vgl. Abbildung 43 und Abbildung 44).

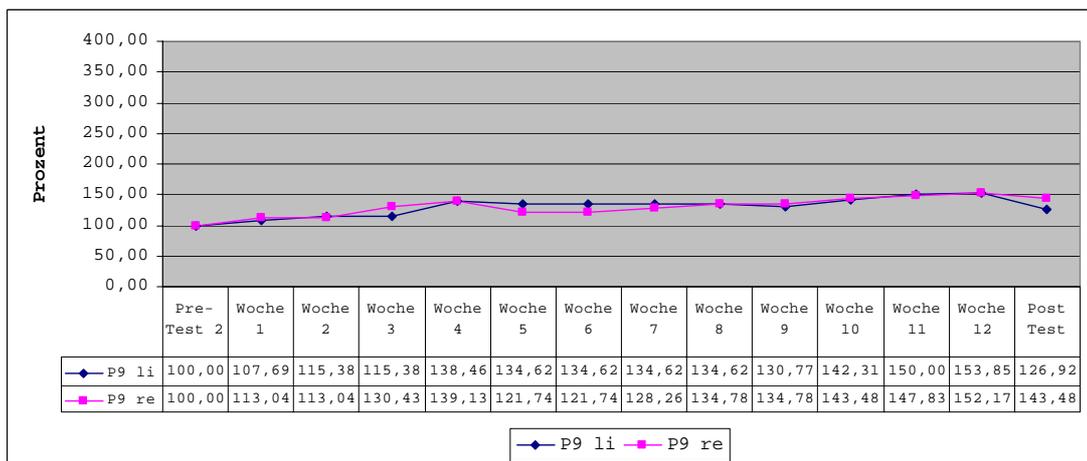


Abbildung 43: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P9 (HIT)

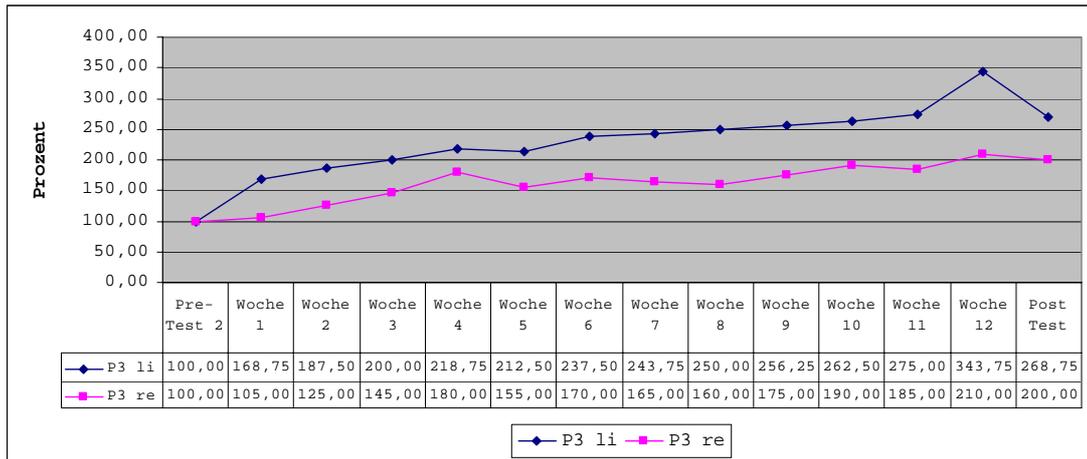


Abbildung 44: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P3 (1 Satz)

Die prozentualen Zuwächse der Kraftausdauerwerte fallen wesentlich höher aus als es für den Parameter isometrische Maximalkraft festzustellen war. Bei einem Vergleich der Abbildungen der prozentualen Entwicklung der Kraftausdauerwerte und der isometrischen Maximalkraftwerte ist unbedingt die Skalierung zu beachten.

Inferenzstatistische Verfahren

Die Überprüfung der individuellen Maximalkraftentwicklungen erfolgte mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore (vgl. Anhang C2)

Trotz der in der deskriptiven Statistik deutlichen Zunahme der Kraftausdauerwerte der meisten Probanden ergibt die Analyse mittels Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore nur bei fünf der 14 Messwertreihen ein signifikantes Ergebnis. Hierbei fällt besonders das Ergebnis des Probanden P5 (HIT-Trainingsgruppe) auf. Als einziger Proband werden bei ihm bei beiden Beinen überzufällig wenige Vorzeichenwechsel festgestellt. Die Messwertreihe des linken Beines ergab sogar einen höchst signifikanten Wert von $p < 0,001$ (vgl. Abbildung 45).

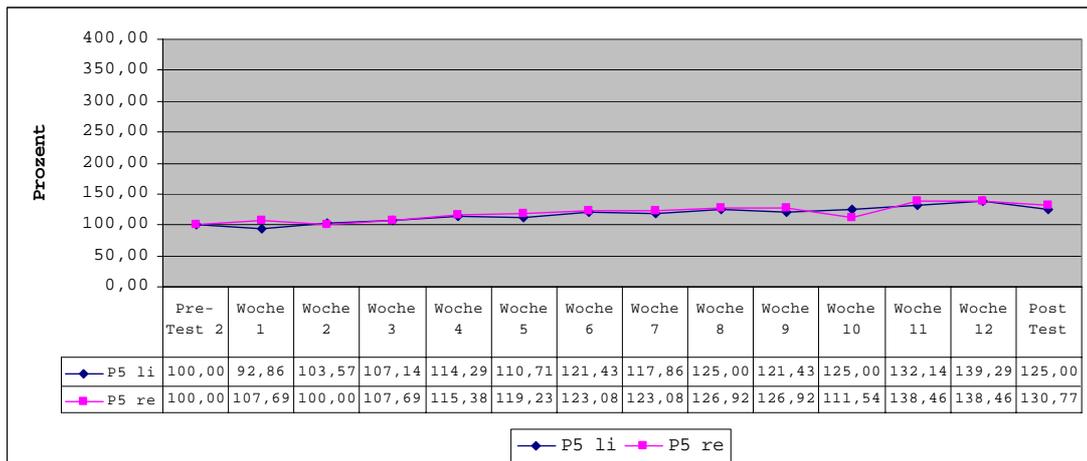


Abbildung 45: P5 (HIT)

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart (vgl. Anhang C2)

14 der 22 Messwertreihen zeigen einen positiven Trend von $p=0,044$. Jeweils die Hälfte der Messwertreihen der Dreisatz- und Einsatz-Trainingsgruppe sowie 8 der 10 Messwertreihen der HIT-Trainingsgruppe weisen einen signifikant positiven Trend bei der Entwicklung der Kraftausdauer auf.

Dieses Ergebnis unterstützt die gruppenspezifische Betrachtung der Kraftausdauerentwicklung. Es werden deutlich mehr signifikante Wachstumstrends festgestellt als dies für die isometrische Maximalkraft der Fall war.

6.2.4 Zusammenfassende Beschreibung der Kraftausdauerentwicklung

Durch die vorgenommene Trainingsintervention kommt es zu wesentlich stärkeren Verbesserungen der Kraftausdauer als dies für die isometrische Maximalkraft festzustellen war (vgl. Abbildung 32 und Abbildung 41). Die inferenzstatistischen Verfahren bestätigen die Effektivität der drei Trainingsmethoden für die Verbesserung der Kraftausdauer.

6.3 Muskeldicke

Die Veränderungen der Muskeldicke wurden jeweils für drei Messpunkte an jedem Bein bestimmt. Es fallen also bei Betrachtung beider Beine sechs Werte pro Messzeitpunkt an. Dies unterscheidet die Beschreibung der

Ergebnisse der Muskeldickenveränderungen von den Veränderungen der anderen erhobenen Parameter. Wie bei der Beurteilung der Maximalkraft müssen auch bei der Beurteilung der absoluten Muskeldickenveränderungen geschlechtsspezifische Unterschiede berücksichtigt werden.

Bei der Darstellung der Ergebnisse werden im Folgenden die drei Messpunkte pro Bein verkürzt mit D_{30} , D_{50} und D_{70} bezeichnet. Diese Angaben bezeichnen die prozentuale Distanz vom proximalen Patellapol zur Spina iliaca superior anterior. Zusätzlich wird bei der Beschreibung der Trainingsgruppen sowie der Individuen der Mittelwert der Muskeldicken der drei Messpunkte unter der Bezeichnung **Muskeldicke Kombiniert** (D_{Kom}) aufgeführt.

6.3.1 Zusammengefasste Muskeldickenveränderungen des M. quadrizeps femoris aller Trainingsgruppen

In den Grafiken werden die zusammengefassten Muskeldickenveränderungen aller 11 Probanden über den Trainingszeitraum von 12 Wochen sowie dem Pre-Test 2 und dem Post-Test dargestellt.

Es werden jeweils die drei unterschiedlichen Messwertreihen (D_{30} , D_{50} , D_{70}) dargestellt. Daher wurde jeweils nur die positive Standardabweichung abgebildet. Die gesamten Messwerte der Muskeldickenmessung sind im Anhang C3 aufgeführt.

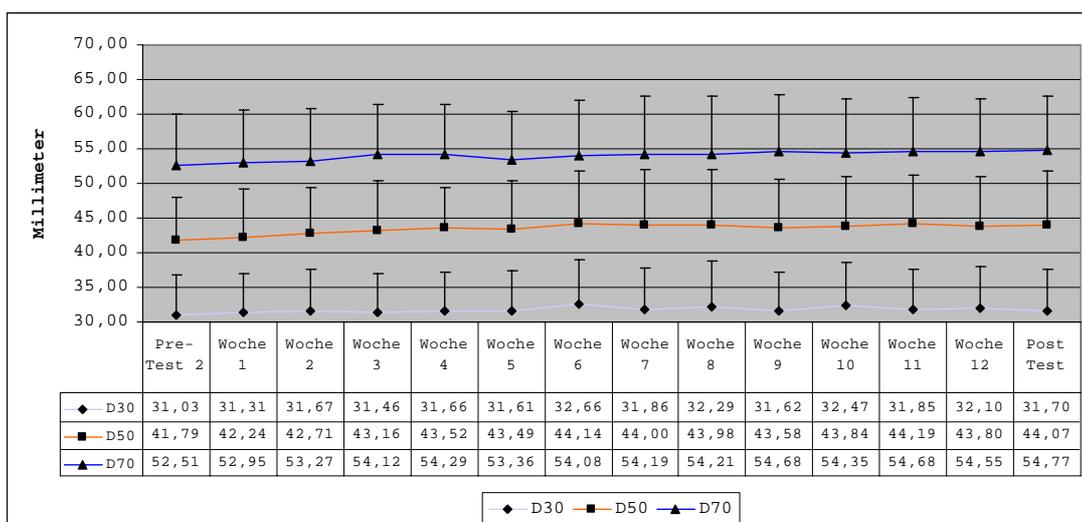


Abbildung 46: Muskeldickenveränderungen aller Probanden (mm) – linkes Bein

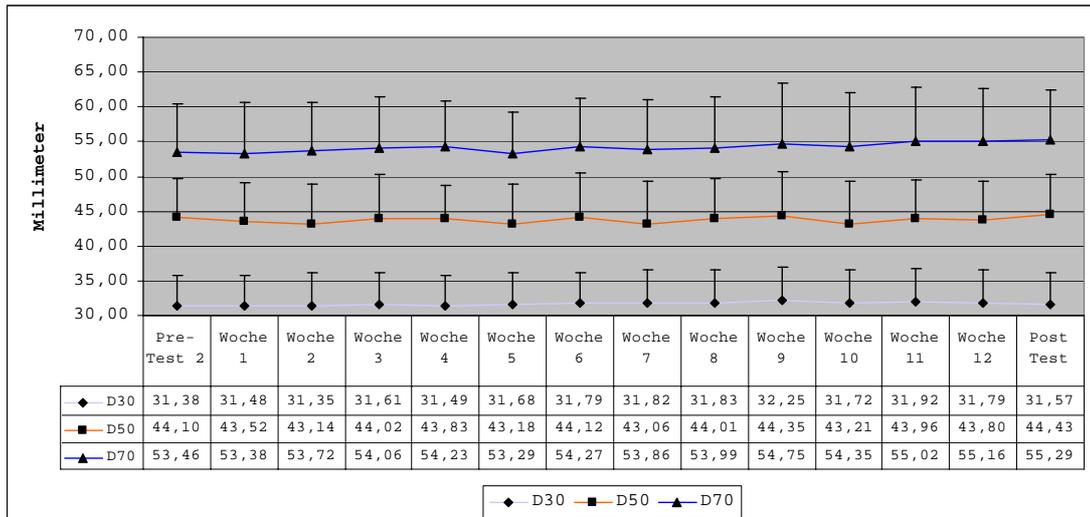


Abbildung 47: Muskeldickenveränderungen aller Probanden (mm) – rechtes Bein

Inferenzstatistische Verfahren

Der Zusammenhang zwischen den Muskeldickenveränderungen beider Beine wurde mittels der Rangkorrelation nach Kendall überprüft.

Korrelation

Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationen zwischen den einzelnen Messpunkten, die bei der Ultraschallmessung erhoben wurden. Die Berechnung bezieht sich auf die Muskeldickenwerte über den gesamten Untersuchungszeitraum (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Korrelation der Messpunkte der Muskeldickenmessungen
(Rangkorrelation nach Kendall)

		D ₃₀ Li	D ₅₀ Li	D ₇₀ Li	D _{kom} Li	D ₃₀ Re	D ₅₀ Re	D ₇₀ Re	D _{kom} Re
D ₃₀ Li	τ	1,000	0,604	0,287	0,714	0,354	-0,055	0,341	0,165
	p		0,003**	0,154	0,000***	0,079	0,784	0,090	0,412
D ₅₀ Li	τ	0,604	1,000	0,508	0,846	0,530	0,121	0,473	0,385
	p	0,003**		0,012*	0,000***	0,008**	0,547	0,019*	0,055
D ₇₀ Li	τ	0,287	0,508	1,000	0,575	0,478	0,221	0,729	0,575
	p	0,154	0,012*		0,004**	0,018*	0,273	0,000***	0,004**
D _{kom} Li	τ	0,714	0,846	0,575	1,000	0,464	0,187	0,538	0,407
	p	0,000***	0,000***	0,004**		0,021*	0,352	0,007**	0,043*
D ₃₀ Re	τ	0,354	0,530	0,478	0,464	1,000	0,133	0,287	0,464
	p	0,079	0,008**	0,018*	0,021*		0,511	0,154	0,021*
D ₅₀ Re	τ	-0,055	0,121	0,221	0,187	0,133	1,000	0,341	0,560
	p	0,784	0,547	0,273	0,352	0,511		0,090	0,005**
D ₇₀ Re	τ	0,341	0,473	0,729	0,538	0,287	0,341	1,000	0,692
	p	0,090	0,019*	0,000***	0,007	0,154	0,090		0,001***
D _{kom} Re	τ	0,165	0,385	0,575	0,407	0,464	0,560	0,692	1,000
	p	0,412	0,055	0,004**	0,043	0,021*	0,005**	0,001***	

* Signifikant (p<0,05)

** Hoch signifikant (p<0,01)

*** Höchst signifikant (p<0,001)

6.3.2 Muskeldickenveränderungen des M. quadrizeps femoris der Trainingsgruppen

Die folgenden Abbildungen zeigen die zusammengefassten Ergebnisse beider Beine. Es werden die prozentualen Veränderungen der Trainingsgruppen bei D₃₀, D₅₀ und D₇₀ aufgeführt (vgl. Abbildung 48-Abbildung 51). Zusätzlich wird der gemittelte Muskeldickenwert der drei Messpunkte unter der Bezeichnung D_{kom} angegeben. Die Skalierung wurde bewusst gewählt, um eine Vergleichbarkeit mit den Veränderungen der isometrischen Maximalkraft zu gewährleisten.

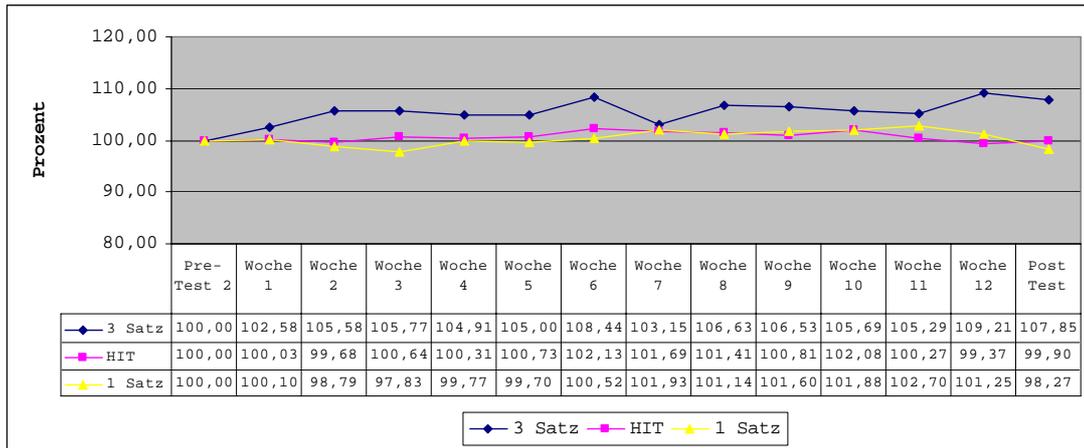


Abbildung 48: Prozentuale Muskeldickenveränderung D₃₀

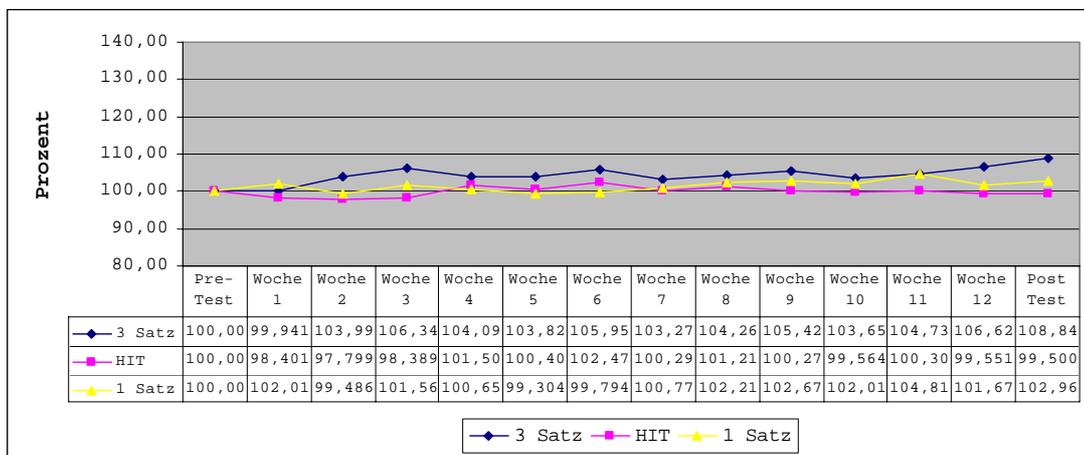


Abbildung 49: Prozentuale Muskeldickenveränderung D₅₀

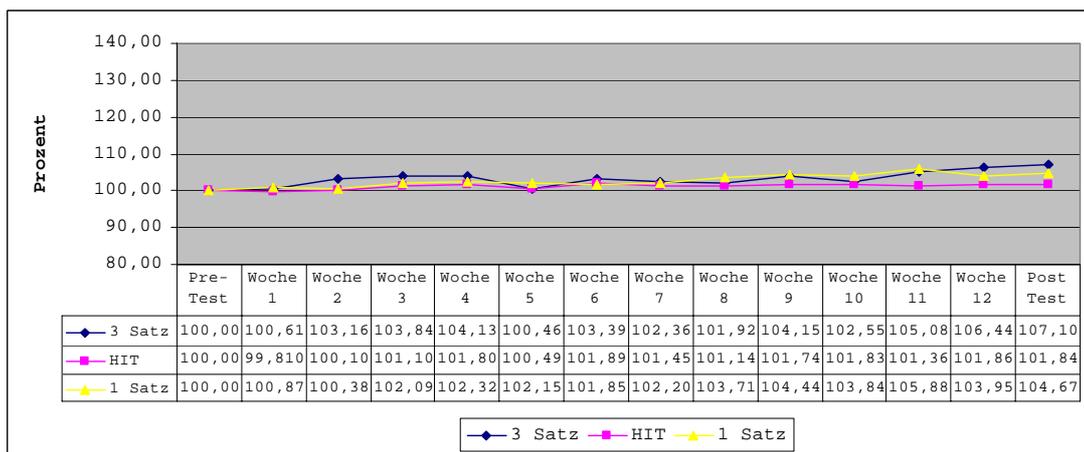


Abbildung 50: Prozentuale Muskeldickenveränderung D₇₀

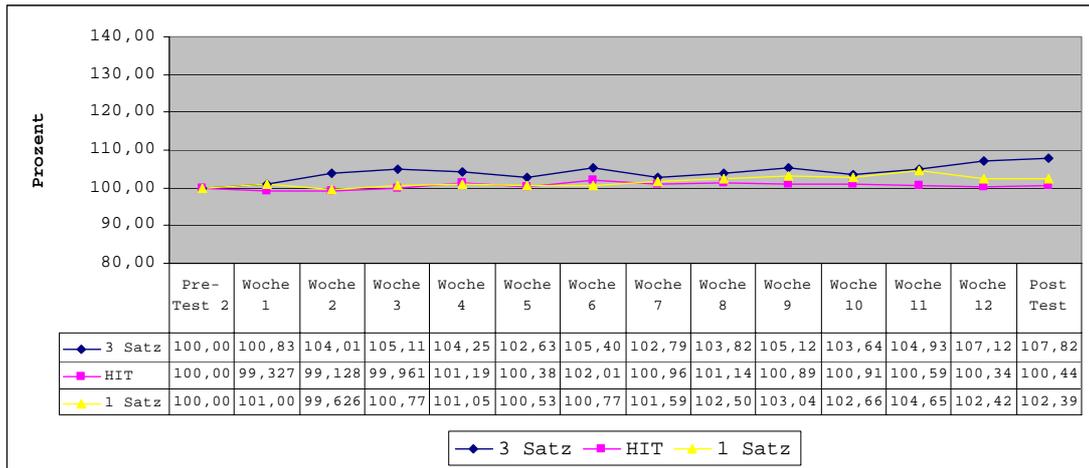


Abbildung 51: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{kom}

Inferenzstatistische Verfahren

Die gruppenspezifische Muskeldickenveränderungen wurden mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart überprüft.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore

Der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore ergab nur für die Muskeldickenveränderungen der Einsatz-Trainingsgruppe bei D_{30} und D_{70} ein hoch signifikantes Ergebnis (vgl. Tabelle 26):

Tabelle 26: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenwechsel der Muskeldickenveränderung (Wallis und Moore)

	Messpunkt	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
Dreisatz-Trainingsgruppe	D_{30}	8	0,363
	D_{50}	8	0,363
	D_{70}	9	0,628
	D_{kom}	7	0,275
HIT-Trainingsgruppe	D_{30}	8	0,363
	D_{50}	8	0,363
	D_{70}	8	0,363
	D_{kom}	10	0,943
Einsatz-Trainingsgruppe	D_{30}	5	0,008**
	D_{50}	9	0,628
	D_{70}	5	0,008**
	D_{kom}	8	0,541

** Hoch signifikant ($p < 0,01$)

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart

Die Überprüfung der Zeitreihen auf Trendänderungen mit dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ergab folgende Ergebnisse (vgl. Tabelle 27):

Tabelle 27: Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Muskeldickenveränderung (Cox und Stuart)

	Messpunkt	+	-	=	z	p
Dreisatz- Trainingsgruppe	D ₃₀	4	1	0	1,080	0,280
	D ₅₀	5	0	0	2,006	0,044*
	D ₇₀	5	0	0	2,006	0,044*
	D _{kom}	5	0	0	2,006	0,044*
HIT- Trainingsgruppe	D ₃₀	3	2	0	0,154	0,881
	D ₅₀	4	1	0	1,080	0,280
	D ₇₀	3	2	0	0,154	0,881
	D _{kom}	4	1	0	1,080	0,280
Einsatz- Trainingsgruppe	D ₃₀	4	1	0	1,080	0,280
	D ₅₀	5	0	0	2,006	0,044*
	D ₇₀	5	0	0	2,006	0,044*
	D _{kom}	5	0	0	2,006	0,044*

* Signifikant ($p < 0,05$)

Bei der Dreisatz-Trainingsgruppe und bei der Einsatz-Trainingsgruppe war jeweils ein signifikanter ($p = 0,044$) positiver Trend bei den Messpunkten D₅₀ und D₇₀ zu erkennen.

6.3.3 Muskeldickenveränderungen der einzelnen Probanden

Es werden wieder exemplarisch die prozentualen Muskeldickenveränderungen der Probanden P11 (3 Satz), P9 (HIT) und P3 (1 Satz) dargestellt. In den drei an dieser Stelle aufgeführten Grafiken werden die Daten für den Messpunkt D_{kom} aufgeführt.

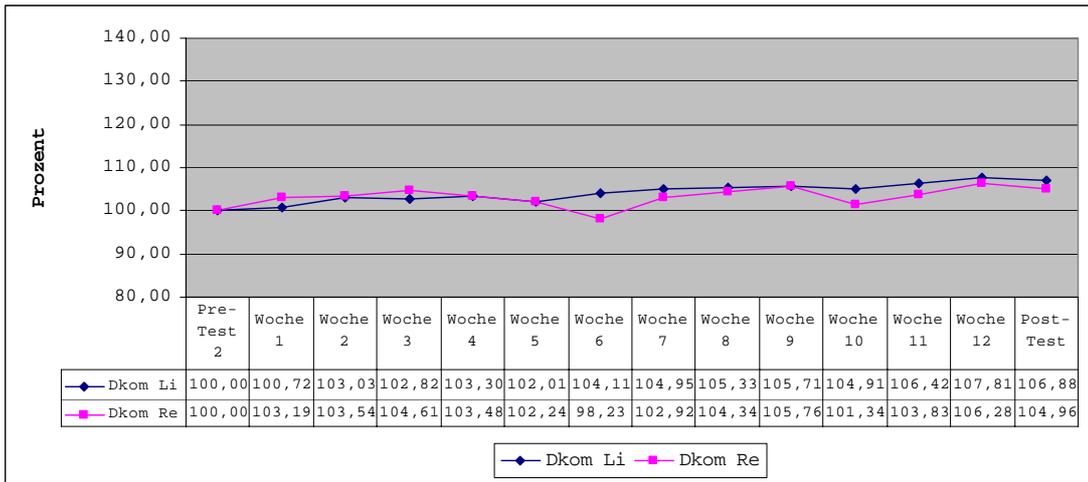


Abbildung 52: Muskeldickenveränderungen P11 – D_{kom} (3 Satz)

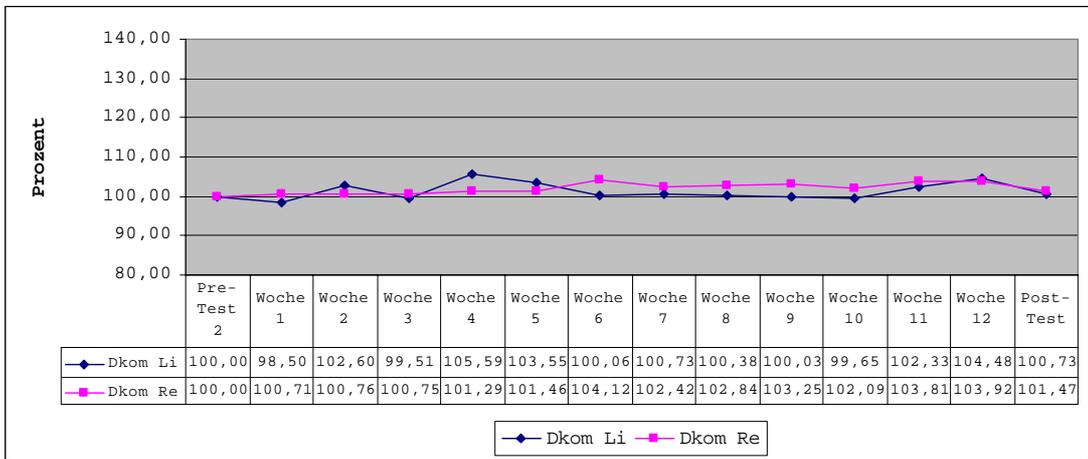


Abbildung 53: Muskeldickenveränderungen P9 – D_{kom} (HIT)

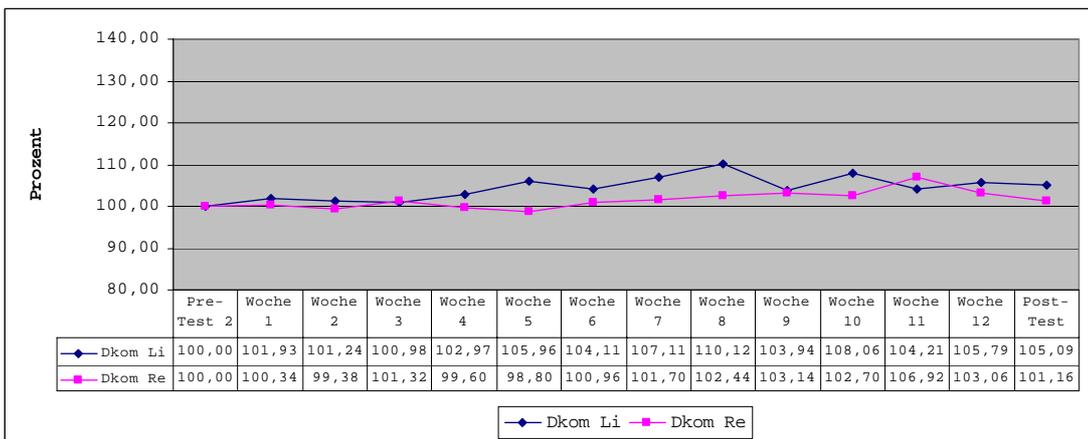


Abbildung 54: Muskeldickenveränderung P3 – D_{kom} (1 Satz)

Die Veränderungen der Muskeldicke fallen ähnlich wie die Veränderungen der isometrischen Maximalkraft wesentlich geringer aus als die Ver-

änderungen der Kraftausdauer. Die in der Gruppenanalyse festgestellten größeren Hypertrophieeffekte des Mehrsatz- und des Einsatz-Trainings gegenüber dem HIT-Training werden tendenziell auch in der Einzelanalyse bestätigt.

Inferenzstatistische Verfahren

Die Überprüfung der individuellen Muskeldickenentwicklungen erfolgte mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart. Der Test wurde für jeden Messpunkt (D_{30} , D_{50} , D_{70} und D_{kom}) durchgeführt.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore – D_{30}

(vgl. Anhang C3)

Für den Probanden P2 (rechtes Bein) und den Probanden P5 (beide Beine) werden überzufällig wenige ($p=0,044$) Vorzeichenwechsel festgestellt. Eine Betrachtung der Abbildungen (vgl. Anhang C3) verdeutlicht jedoch, dass dies nur eine relativ konstante Entwicklung der Muskeldicke bestätigt. Dies deutet nicht zwangsläufig auf einen besonders positiven bzw. negativen Effekt der entsprechenden Trainingsmethode hin, wie beispielsweise die Muskeldickenveränderung des linken Beines des Probanden Nr. 5 verdeutlicht.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore – D_{50}

(vgl. Anhang C3)

Von den 22 durchgeführten Tests ergaben sich bei vier Tests signifikante Ergebnisse ($p=0,044$) und bei einem Test ein höchst signifikantes Ergebnis ($p=0,000$). Wie schon bei dem Wallis und Moore Test bei D_{30} ist auch bei diesem Test ein signifikantes Ergebnis nicht notwendigerweise ein sicheres Indiz für einen ausgeprägten positiven bzw. negativen Trend. Die Muskeldickenveränderung des linken Beines von Proband Nr. 10 deutet nicht auf einen ausgeprägt positiven oder negativen Effekt der Trainingsmethode hin. Trotzdem zeigt der durchgeführte Test ein signifikantes Ergebnis.

Allerdings bestärkt der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore für das rechte Bein des Probanden Nr. 5 die Hypothese, dass es sich

bei der Verringerung der Muskeldicke um einen monotonen (negativen) Trend handelt.

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore – D_{70}

(vgl. Anhang C3)

Jeweils zwei Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe und der Einsatz-Trainingsgruppe zeigen signifikante ($p=0,044$) bis höchst signifikante ($p=0,000$) Abweichungen von der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen. Die Aussagen bezüglich der Interpretation dieser Ergebnisse, die für die Messpunkte D_{30} und D_{50} getroffen wurden, gelten auch für den Messpunkt D_{70} .

Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore – D_{Kom}

(vgl. Anhang C3)

Die Probanden P11 und P13 der Dreisatz-Trainingsgruppe zeigen für das linke Bein signifikante ($p=0,044$) bzw. hoch signifikante ($p=0,008$) Abweichungen von der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen. Der Proband P6 der HIT-Trainingsgruppe zeigt für das linke Bein hoch signifikante ($p=0,008$) und für das rechte Bein signifikante ($p=0,044$) Abweichungen von der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen.

Entsprechende signifikante ($p=0,044$) Abweichungen sind ebenfalls für die Muskeldickenveränderungen des linken Beines des Probanden P4 der Einsatz-Trainingsgruppe festzustellen.

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart – D_{30}

(vgl. Anhang C3)

Es werden jeweils bei zwei Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe und bei zwei Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe bei einem Bein signifikante positive Trends ($p=0,044$) festgestellt. Bei der HIT-Trainingsgruppe ergibt die Überprüfung mit dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart bei einem Probanden für das rechte Bein einen signifikant positiven Trend ($p=0,044$). Der Proband P5 der HIT-Trainingsgruppe ist der einzige Proband der Trainingsgruppen, der einen signifikant negativen Trend ($p=0,044$) bei der Muskeldickenentwicklung eines Beins aufweist.

Ein Vergleich des Folgevorzeichen-Iterationstestes von Wallis und Moore und des Vorzeichen-Trendtestes von Cox und Stuart ergibt keine Übereinstimmungen für den Messpunkt D_{30} .

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart – D_{50}

(vgl. Anhang C3)

Für die Dreisatz-Trainingsgruppe werden bei den identischen Probanden (P11 und P13) wie bei Messpunkt D_{30} signifikant positive Trends ($p=0,044$) festgestellt. Proband 16 der HIT Trainingsgruppe weist einen signifikant ($p=0,044$) positiven Trend für die Muskeldickenentwicklung des rechten Beins auf. Der signifikant ($p=0,044$) negative Trend der für das rechte Bein des Probanden P5, der schon bei dem Messpunkt D_{30} auffiel, ist auch für den Messpunkt D_{50} festzustellen.

Drei Messwertreihen der Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe zeigen signifikant positive ($p=0,044$) Trends. Proband P3 zeigt hierbei für beide Beine einen signifikant positiven ($p=0,044$) Wachstumstrend. Der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ergibt für den Probanden P4 wie schon beim Messpunkt D_{30} , auch für den Messpunkt D_{50} für das linke Bein einen signifikant positiven Trend ($p=0,044$).

Ein Vergleich des Folgevorzeichen-Iterationstestes von Wallis und Moore und des Vorzeichen-Trendtestes von Cox und Stuart ergibt für den Messpunkt D_{50} für das linke Bein des Probanden P11 (Dreisatz-Trainingsgruppe) ein signifikantes Ergebnis (Wallis & Moore $p=0,044$; Cox & Stuart $p=0,044$).

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart – D_{70}

(vgl. Anhang C3)

Proband P13 (Dreisatz-Trainingsgruppe) zeigt bei D_{70} für beide Beine signifikant positive ($p=0,044$) Trends. Er ist der einzige Proband der Dreisatz-Trainingsgruppe, der für den Messpunkt D_{70} einen signifikanten Trend aufweist. Proband P13 ist der einzige Proband aller Trainingsgruppen, der für ein Bein bei allen drei Messpunkten (D_{30} , D_{50} und D_{70}) einen signifikant positiven Trend aufweist.

Die Messwertreihen des rechten Beines der Probanden P6 und P9 der HIT-Trainingsgruppe weisen einen signifikant positiven ($p=0,044$) Trend auf. Der signifikant negative Trend der Muskeldickenentwicklung des rechten Beines des Probanden P5 ist für den Messpunkt D_{70} nicht zu bestätigen.

Drei Messwertreihen von Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe zeigen signifikant positive ($p=0,044$) Trends. Auffällig ist hierbei die signifikant positive Muskeldickenentwicklung der Muskeldicke beider Beine des Probanden P3 (Einsatz-Trainingsgruppe).

Die Tests von Wallis und Moore und von Cox und Stuart ergeben für den Messpunkt D_{70} für das linke Bein des Probanden P13 (Dreisatz-Trainingsgruppe) und das linke Bein des Probanden P12 ein hoch signifikantes bzw. signifikantes Ergebnis (Wallis & Moore $p=0,008$; Cox & Stuart $p=0,044$).

Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart – D_{kom} (vgl. Anhang C3)

Insgesamt zeigen 10 Probanden der Trainingsgruppen signifikant positive Wachstumstrends für D_{kom} . Bis auf das rechte Bein des Probanden P12 zeigen alle D_{kom} -Werte der Einsatz-Trainingsgruppe positive Wachstumstrends. Drei D_{kom} -Werte der Dreisatz-Trainingsgruppe und zwei D_{kom} -Werte der HIT-Trainingsgruppe weisen ebenfalls einen signifikant positiven Trend auf.

Nur bei drei Messwerten¹⁶⁶, davon zwei aus der Dreisatz-Trainingsgruppe und einer aus der Einsatz-Trainingsgruppe, ergeben sowohl der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore als auch der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ein hoch signifikantes bzw. signifikantes Ergebnis.

6.3.4 Veränderung der Muskeldicken von M. vastus intermedius und M. rectus femoris

Die in dieser Trainingsstudie gemessene Muskeldicke setzte sich aus den kombinierten Muskeldicken des M. rectus femoris sowie des M. vastus intermedius und der sie trennenden Faszie zusammen. Zur Überprüfung

¹⁶⁶ P11 Links und P13 Links (Dreisatz- Trainingsgruppe) ; P4 Links (Einsatz-Trainingsgruppe).

einer möglicherweise unterschiedlichen Hypertrophiereaktion auf den durch die Beinstreckübung ausgeübten Trainingsreiz wurden der M. rectus femoris und der M. vastus intermedius bei ausgewählten Probanden separat vermessen. Die Messungen wurden bei den Probanden, die bei dem Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart einen signifikanten Wachstumstrend zeigten und bei denen das Mittel der letzten drei prozentualen Muskelzuwächse über 10% betrug, durchgeführt. Hierbei wurden die Messzeitpunkte Pre-Test 2 und Post-Test verglichen (vgl. Tabelle 28).

Tabelle 28: Muskeldickenveränderungen des M. vastus intermedius und des M. rectus femoris (mm)

	Pre-Test 2	Post-Test	Pre-Test 2	Post-Test
	M. vastus intermedius		M. rectus femoris	
P11 D ₅₀ Li	19,52	22,36	28,14	29,03
P13 D ₃₀ Re	13,65	16,52	12,09	14,61
P13 D ₅₀ Re	15,12	18,51	19,06	22,59
P13 D ₇₀ Li	23,66	27,19	20,83	25,70
P13 D ₇₀ Re	23,38	26,24	21,38	22,09
P3 D ₇₀ Li	22,72	27,72	34,98	37,91
P3 D ₇₀ Re	22,56	24,07	36,41	39,58
P4 D ₃₀ Li	15,27	16,73	13,34	13,89
P4 D ₅₀ LI	18,40	20,23	21,33	22,74
g	19,37	22,17	23,06	25,35
s	3,94	4,40	8,57	8,98

Die Muskeldickenzunahmen des M. vastus intermedius betragen im Mittel 2,81 mm ($\pm 1,12$), die des M. rectus femoris im Mittel 2,29 mm ($\pm 1,48$).

6.3.5 Zusammenfassende Beschreibung der Muskeldickenentwicklung

Die inferenzstatistische Überprüfung der prozentualen gruppenspezifischen Veränderungen zeigen sowohl für die Mehrsatz-Trainingsmethode als auch für die Einsatz-Trainingsmethode signifikant positive Wachstumstrends der Muskeldicken D₅₀, D₇₀ und D_{kom}. Hierbei sind die prozentualen Zuwächse mit maximal 8,6% Muskeldickenzuwachs für die Dreisatz-Trainingsgruppe (Messpunkt D₃₀, Testzeitpunkt Woche 12) wesentlich geringer als die Kraftausdauerzuwächse und ebenfalls geringer als die isometrischen Maximalkraftzuwächse.

6.4 Körpergewicht und Körperfettanteil

Körpergewicht und der Körperfettanteil wurden mit der Körperanalyse-Waage Tanita TBF300 gemessen. Auf Grund des sekundären Charakters dieser Parameter erfolgt im Folgenden lediglich die deskriptive Darstellung der Daten sowie die inferenzstatistische Überprüfung der Körpergewichtsveränderungen und des prozentualen Körperfettanteils der Trainingsgruppen mittels des Vorzeichen-Trendtestes von Cox und Stuart. Die gesamten Daten der beiden Parameter sind in Anhang C4 aufgeführt.

6.4.1 Zusammengefasste Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils aller Trainingsgruppen

Die folgende Grafik stellt die Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils aller Probanden der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum dar (vgl. Abbildung 55):

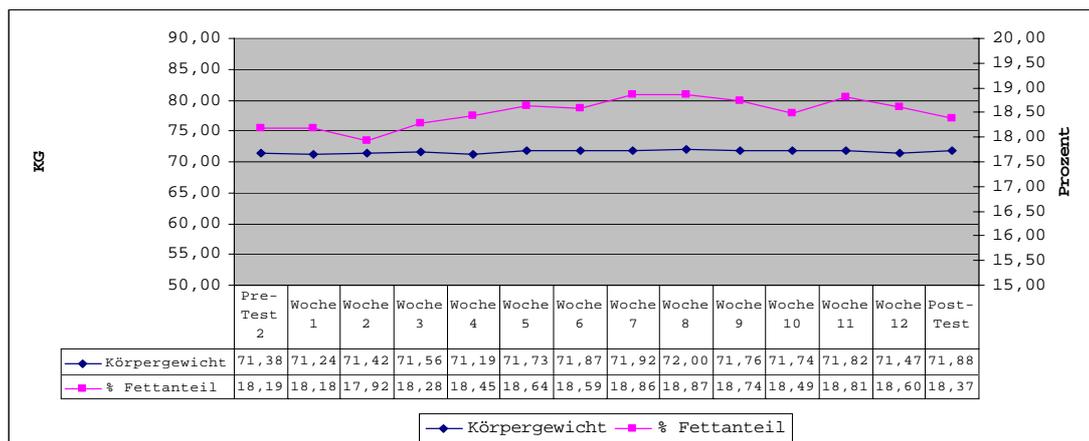


Abbildung 55: Körpergewicht und prozentualer Körperfettanteil aller Probanden über den Trainingszeitraum

6.4.2 Körpergewicht und Körperfettanteil der Trainingsgruppen

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die Entwicklung des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Trainingsgruppen (vgl. Abbildung 56-Abbildung 58). Zur besseren Vergleichbarkeit werden hierbei die Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils als Prozentangaben dargestellt:

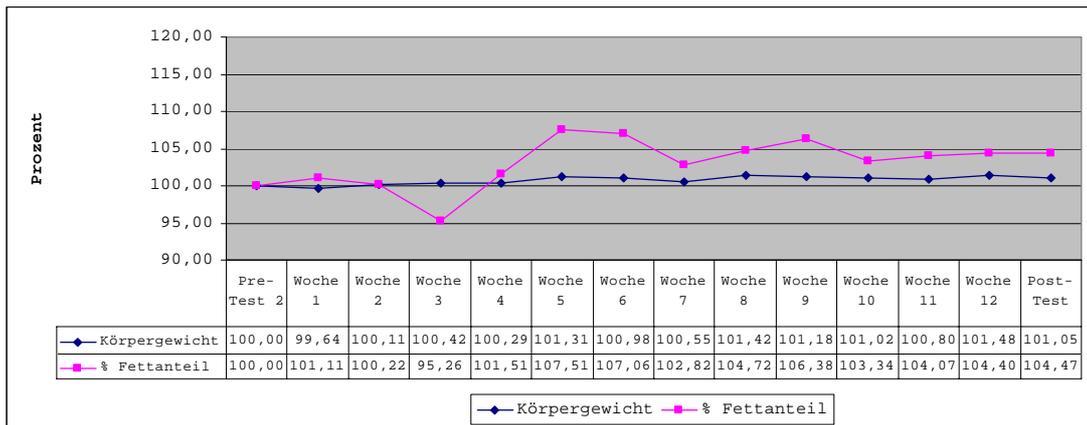


Abbildung 56: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Dreisatz-Trainingsgruppe

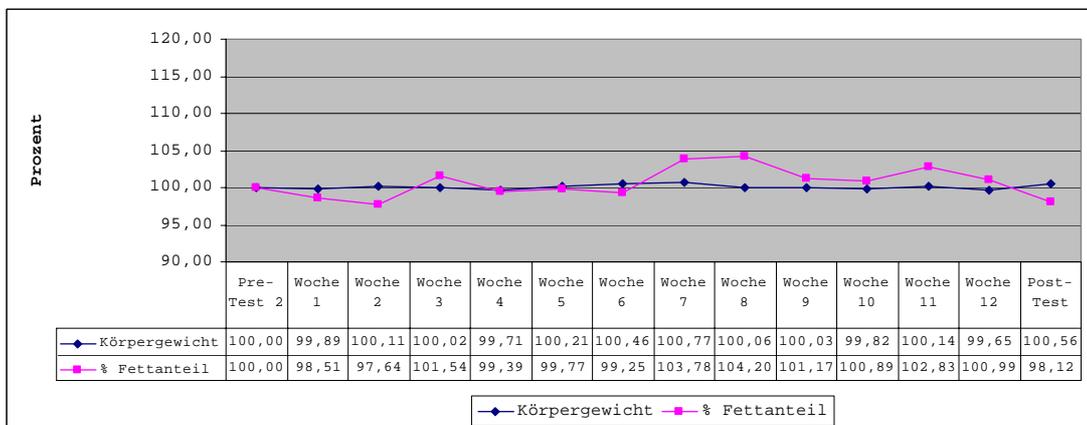


Abbildung 57: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der HIT-Trainingsgruppe

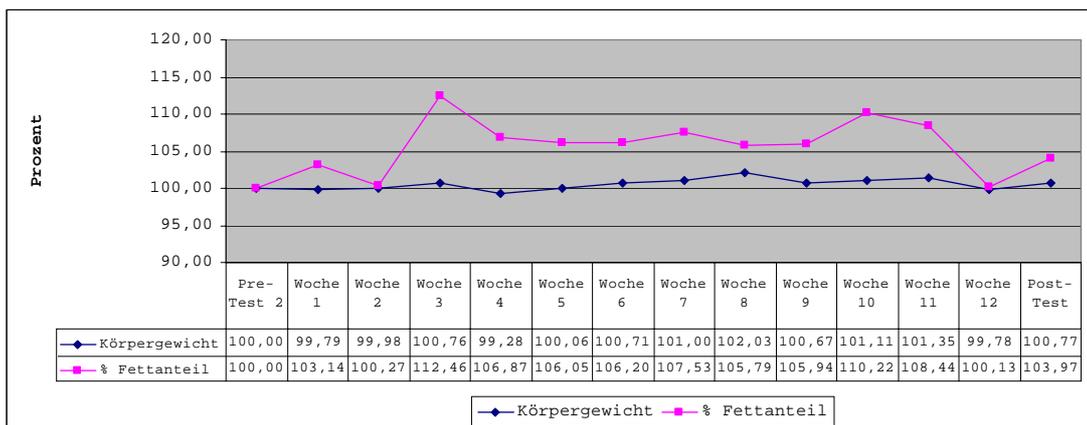


Abbildung 58: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Einsatz-Trainingsgruppe

Trendtest von Cox und Stuart

Nur für die Dreisatz-Trainingsgruppe sind sowohl für die Veränderung des Körpergewichtes als auch für den prozentualen Körperfettanteil signifikante positive Trends ($p=0,044$) festzustellen (vgl. Tabelle 29 und Tabelle 30).

Tabelle 29: Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Körpergewichtsentwicklung der Trainingsgruppen (Cox und Stuart)

	+	-	=	z	p
Dreisatz-Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*
HIT-Trainingsgruppe	2	2	1	-0,154	0,881
Einsatz-Trainingsgruppe	4	1	0	1,080	0,280

* Signifikant ($p<0,05$)

Tabelle 30: Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils der Trainingsgruppen (Cox und Stuart)

	+	-	=	z	p
Dreisatz-Trainingsgruppe	5	0	0	2,006	0,044*
HIT-Trainingsgruppe	3	2	0	0,154	0,881
Einsatz-Trainingsgruppe	3	2	0	0,154	0,881

* Signifikant ($p<0,05$)

6.4.3 Körpergewicht und Körperfettanteil der einzelnen Probanden

Die folgenden Abbildungen beschreiben die Veränderungen der beiden Parameter für die Probanden P11, P9 und P3 (vgl. Abbildung 59-Abbildung 61):

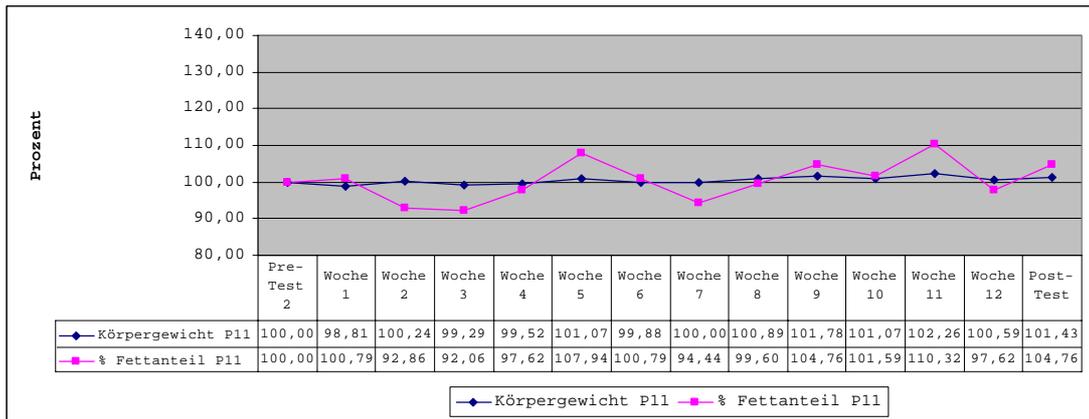


Abbildung 59: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P11 (3 Satz)

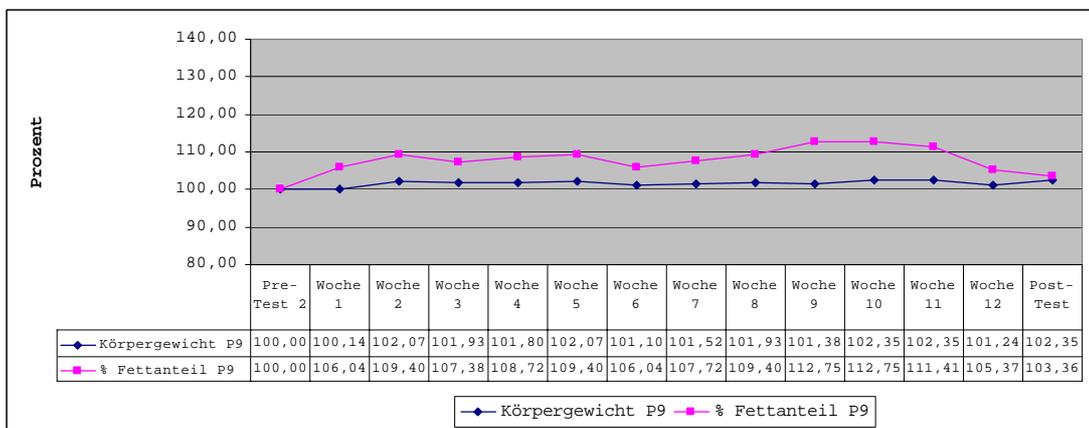


Abbildung 60: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P9 (HIT)

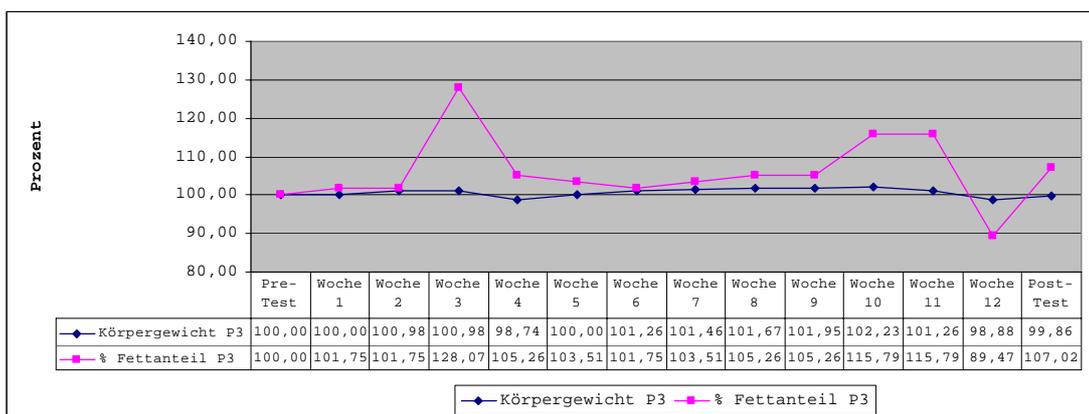


Abbildung 61: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P3 (1 Satz)

6.5 Kontrollgruppe

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Kontrollgruppe vorgestellt. Hierbei wird zwischen dem Probanden K1 und den Probanden K2-K5 unterschieden. Die vollständige Auflistung aller Rohwerte der Probanden K1-K5 ist im Anhang C5 zu finden.

6.5.1 Ergebnisse Proband K1

Bei dem Probanden K1 handelte es sich um einen 22-jährigen Sportstudenten und im Sportverein aktiven Tischtennisspieler. Er litt in seiner Kindheit unter einem Verschluss der linken Halsschlagader und hierdurch bedingten Lähmungserscheinungen der rechten Körperhälfte.

Maximalkraftveränderungen

Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der isometrischen Maximalkraft über den Zeitraum von 12 Wochen.

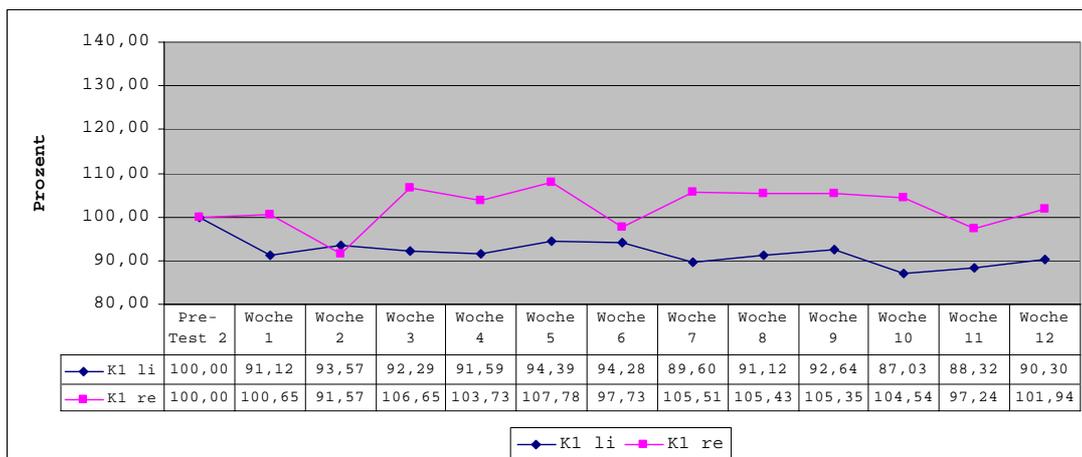


Abbildung 62: Isometrische Maximalkraftentwicklung K1 – Kontrollgruppe

Die absoluten Werte zeigen, dass trotz der vollen Sporttauglichkeit das linke Bein deutlich stärker als das rechte Bein ist (vgl. Anhang C5). Die inferenzstatistische Überprüfung der isometrischen Maximalkraftentwicklung ergibt weder für den Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore noch für den Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart ein signifikantes Ergebnis. Die Entwicklung der isometrischen Maximalkraft zeigt somit keine positiven oder auch negativen monotonen Trends.

Kraftausdauereränderungen

Die folgende Abbildung zeigt die Veränderung der Kraftausdauer über den Zeitraum von 12 Wochen.

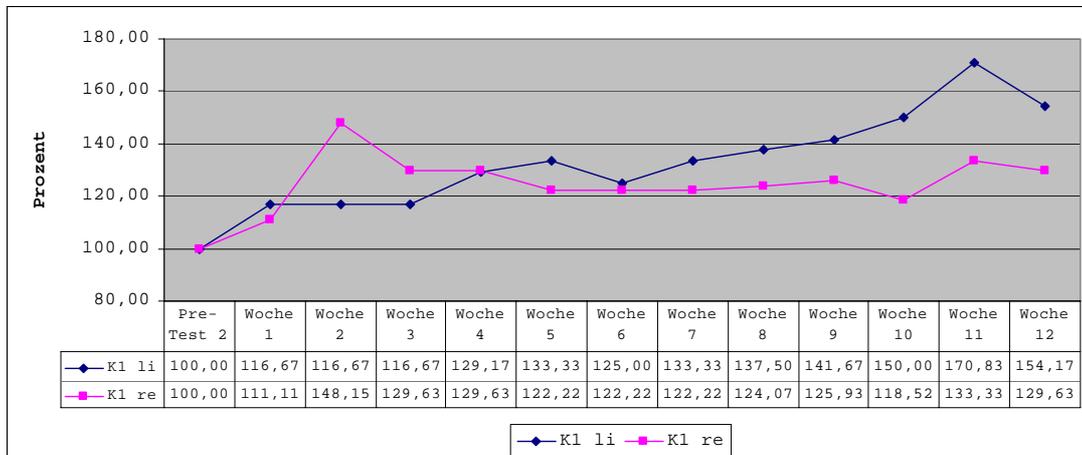


Abbildung 63: Kraftausdauerentwicklung K1 – Kontrollgruppe

Im Gegensatz zu der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft zeigt die Entwicklung der Kraftausdauer einen ausgeprägten positiven Trend für beide Beine. Die inferenzstatistische Überprüfung der Kraftausdauerentwicklung ergibt nur für das linke Bein des Probanden K1 ein signifikantes Ergebnis ($z=2,24$; $p=0,025$)¹⁶⁷.

Muskeldickenveränderungen

Die folgenden Abbildungen zeigen die prozentualen Muskeldickenveränderungen für die drei Messpunkte des Probanden K1 über den Zeitraum von 12 Wochen.

¹⁶⁷ Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart.

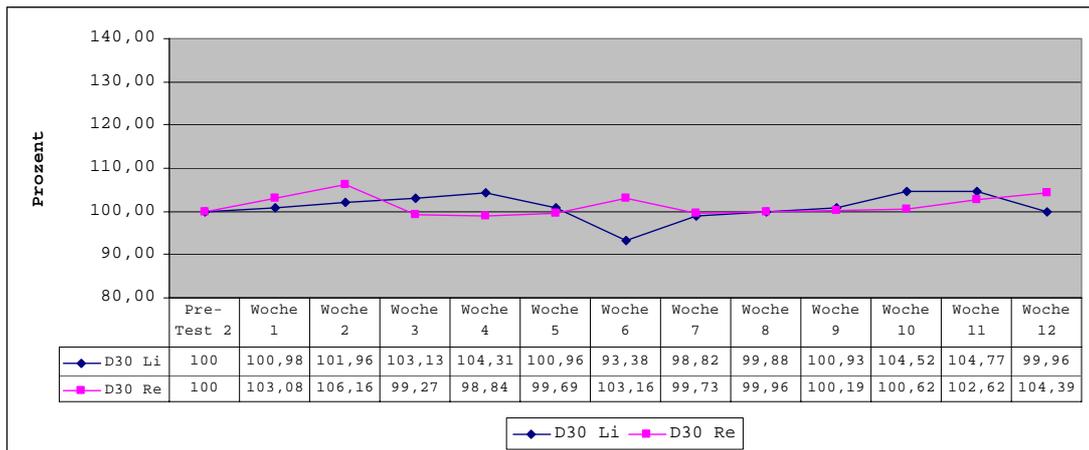


Abbildung 64: Muskeldickenveränderungen K1 – D₃₀ (Kontrollgruppe)

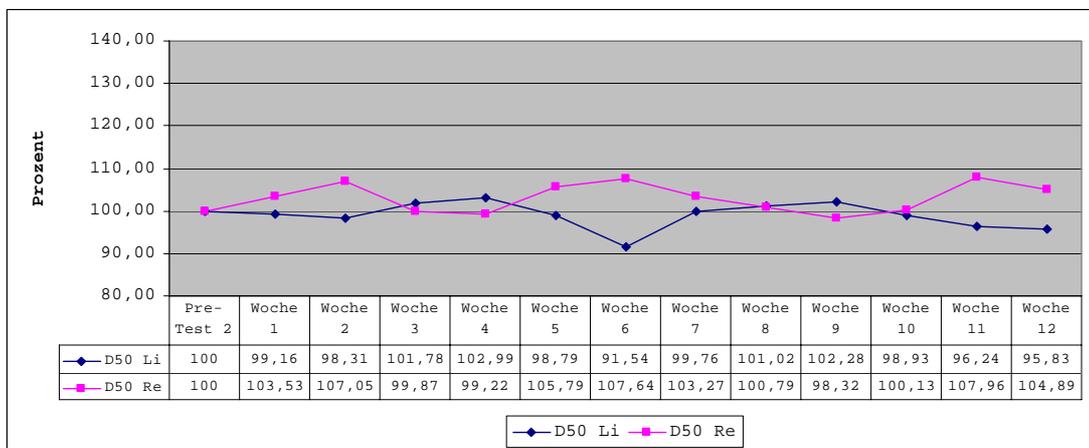


Abbildung 65: Muskeldickenveränderungen K1 – D₅₀ (Kontrollgruppe)

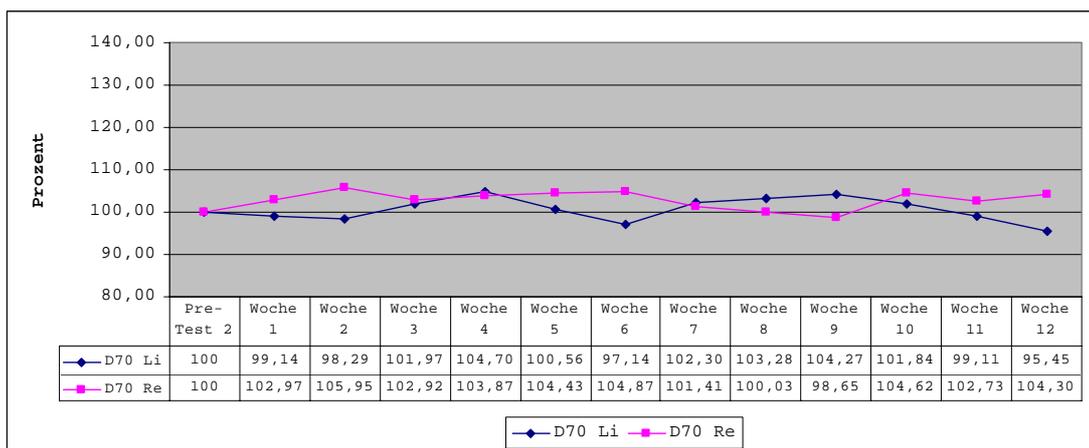


Abbildung 66: Muskeldickenveränderungen K1 – D₇₀ (Kontrollgruppe)

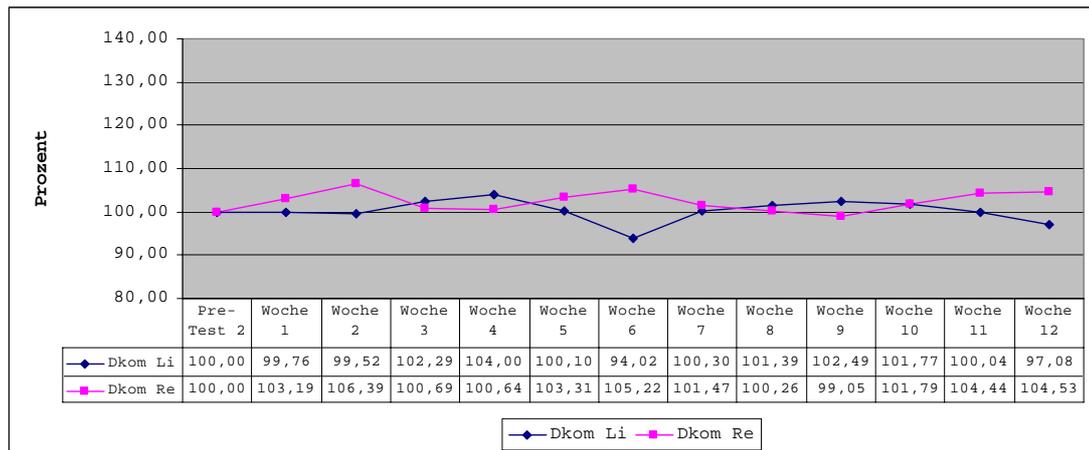


Abbildung 67: Muskeldickenveränderungen K1 – D_{kom} (Kontrollgruppe)

Die Ergebnisse zeigen für das linke Bein nur geringfügige Schwankungen und keinen eindeutigen Trend (vgl. Abbildung 67). Für das rechte Bein ergeben sich stärkere Veränderungen der Muskeldicke. Die Muskeldickenwerte der Messung des rechten Beines nach der ersten Woche wurden durch lineare Interpolation der benachbarten Messpunkte ermittelt. Eine falsche Positionierung der Folie, mit der die Messpunkte reproduziert wurden, führte bei allen drei Messpunkten (D₃₀, D₅₀ und D₇₀) zu einem gravierenden Anstieg der gemessenen Muskeldicke¹⁶⁸.

Die inferenzstatistische Überprüfung ergibt für den Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore für die Messpunkte D₃₀ linkes Bein ein hoch signifikantes ($p=0,003$) und D₃₀ rechtes Bein eine signifikantes ($p=0,021$) Ergebnis. Der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart zeigt keinerlei signifikante positive oder negative Trends.

Körpergewicht und Körperfettanteil

Die folgende Abbildung zeigt die prozentualen Veränderungen des Körpergewichtes und des prozentualen Körperfettanteils des Probanden K1.

¹⁶⁸ Ein Faktor für diese Ausreißer bei diesen Messungen könnte das fast vollständige Fehlen von Leberflecken oder anderen Hautauffälligkeiten der Beine (insbesondere des rechten Beines) des Probanden K1 gewesen sein. Hierdurch wurde die Reproduzierbarkeit der Messpunkte bei diesem Probanden erschwert.

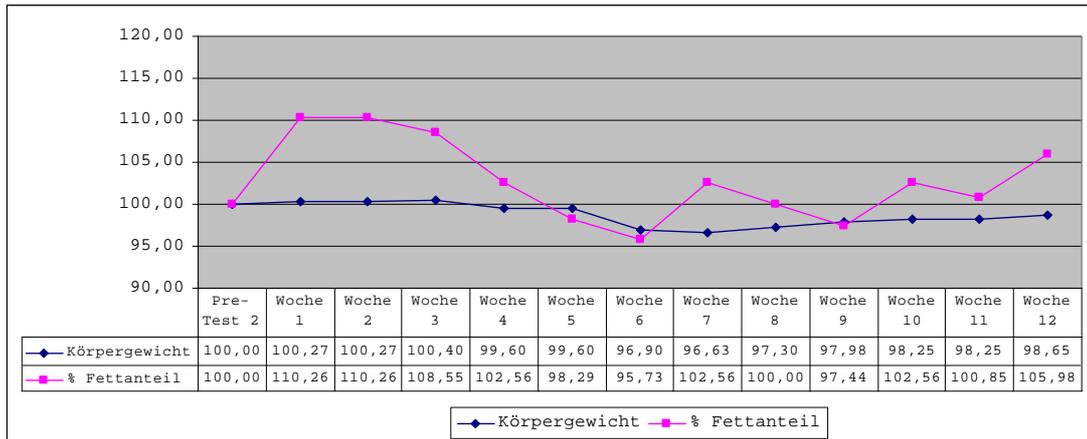


Abbildung 68: Prozentuale Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils des Probanden K1

Auch hier fallen wieder die relativ großen Veränderungen des prozentualen Körperfettgehaltes auf. Allerdings bedeutet beispielsweise die in der Abbildung dargestellte 10%-Zunahme des prozentualen Körperfettanteils zwischen der Messung Pre-Test 2 und der folgenden Messung eine Zunahme des Körperfettanteils von 11,7% auf 12,9% (vgl. Anhang C4).

6.5.2 Ergebnisse Proband K2-K5

Im Gegensatz zu Proband K1 wurden die Probanden K2-K5 der Kontrollgruppe nur einem Pre-Test und einem Post-Test unterzogen. Es wurden alle Parameter, die auch in den Tests der Trainingsgruppen und durchgeführt wurden, erhoben. Die gesamten Werte sind in Anhang C5 zu finden.

Maximalkraft

Es wurden beide Beine gemessen, folglich wurden acht Messwerte gemittelt. Die mittlere prozentuale Veränderung der isometrischen Maximalkraft zwischen dem Pre-Test und dem Post-Test beträgt -1,23% ($\pm 4,58$). Die inferenzstatistische Überprüfung der Veränderung der isometrischen Maximalkraft mit dem Wilcoxon-Test ergibt keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Pre- und dem Post-Test ($z=-0,676$; $p=0,499$). Der ICC von $r=0,984$ ($p<0,001$) bestätigt die hohe Reliabilität des angewandten Messverfahrens der isometrischen Maximalkraft.

Kraftausdauer

Es wurden die Kraftausdauerwerte beider Beine in die Analyse aufgenommen. Die mittlere prozentuale Veränderung der Kraftausdauer zwischen dem Pre-Test und dem Post-Test beträgt +3,55% ($\pm 7,84$). Die inferenzstatistische Überprüfung¹⁶⁹ der Kraftausdauerwerte ergibt keinen signifikanten Unterschied ($z=-0,857$; $p=0,391$). Der ICC von $r=0,914$ ($p<0,001$) belegt die hohe Reliabilität der Kraftausdauermessungen.

Muskeldicke

Die Muskeldicke wurde wie bei den Trainingsgruppen jeweils an drei Messpunkten (D_{30} , D_{50} , D_{70}) pro Bein gemessen. Zusätzlich wird der gemittelte Wert D_{kom} aller drei Messpunkte eines Beines mit aufgeführt. Die folgende Abbildung fasst die Mittelwerte der Muskeldickenmessungen der drei Messpunkte sowie die Muskeldicke aller drei Messpunkte zusammen (vgl. Abbildung 69):

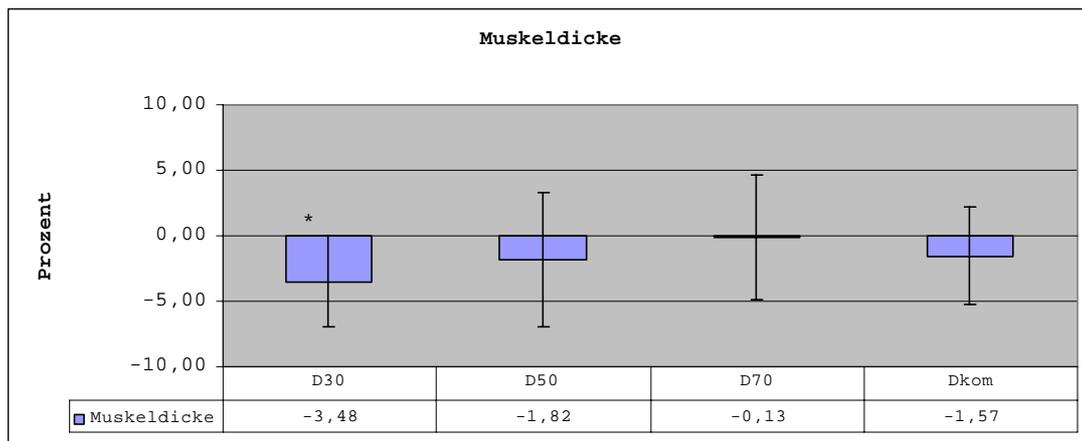


Abbildung 69: Mittelwerte der Muskeldicke – Probanden K2-K5 Pre-Post
* Signifikant $p<0,05$

Der Vergleich der Pre-Post Messungen ergibt für die drei Messpunkte D_{30} , D_{50} , D_{70} sowie des gemittelten Wertes D_{kom} geringe Veränderungen der Muskeldicke (vgl. Abbildung 69).

Die inferenzstatistische Überprüfung mittels des Wilcoxon Tests ergibt für den Messpunkt D_{30} einen signifikanten Unterschied ($z=-2,033$; $p=0,042$) zwischen dem Pre- und Post-Test. Die anderen Messpunkte zeigen keinen signifikanten Unterschied (D_{50} : $z=-0,840$, $p=0,401$; D_{70} : $z=-0,560$, $p=0,575$;

¹⁶⁹ Wilcoxon-Test.

D_{kom} : $z=-0,980$, $p=0,327$). Der Berechnung des ICC ergibt für die Pre-Post-Messungen der drei Messpunkte folgende Ergebnisse:

D_{30} → $r=0,967$ ($p<0,001$)

D_{50} → $r=0,962$ ($p<0,001$)

D_{70} → $r=0,937$ ($p<0,001$)

D_{kom} → $r=0,971$ ($p<0,001$)

Diese Werte bestätigen die hohe Reliabilität der Muskeldickmessung mittels Ultraschall. Die signifikante Reduktion der Muskeldicke für den Messpunkt D_{30} könnte durch den durch die Gewichtsmessungen dokumentierten Verlust an Körpergewicht erklärt werden. Die Verringerung der Muskeldicke ist zwar auch an anderen Messpunkten der Probanden feststellbar, erreicht dort jedoch keine statistische Signifikanz.

Körpergewicht und Körperfettanteil

Die gesamten Ergebnisse werden im Anhang C5 aufgeführt. Es kommt sowohl bei dem Körpergewicht als auch bei dem prozentualen Körperfettanteil zu einer Verringerung der Werte. Das Körpergewicht der Probanden verringerte sich im Mittel um 1,40 kg ($\pm 1,65$), der mittlere prozentuale Körperfettanteil verringerte sich um 1,70% ($\pm 2,12$)¹⁷⁰. Die relative Veränderung des Körpergewichtes vom Pre-Test zum Post-Test beträgt -2,20% ($\pm 2,3$), und die relative Veränderung des Körperfettanteils beträgt -6,23% ($\pm 7,88$). Der ICC ergab für die Körperfettwerte einen hochsignifikanten Wert von $r=0,947$ ($p=0,008$) und für das Körpergewicht einen höchstsignifikanten Wert von $r=0,986$ ($p<0,001$).

6.6 Analyse der maximalen Parameterveränderungen der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe

Im Folgenden werden die maximalen positiven Veränderungen der drei Parameter isometrische Maximalkraft, Kraftausdauer und Muskeldicke

¹⁷⁰ Auf Grund einer Fehlfunktion der Körperfettmesswaage konnte bei dem Post-Test der Probandin K4 kein Körperfettmesswert bestimmt werden.

dargestellt. Die Daten der Kontrollgruppe (K2-K5) werden zusätzlich dargestellt (vgl. Kapitel 6.5.2) um einen einfachen Vergleich der Werte zu ermöglichen.

6.6.1 Isometrische Maximalkraft

Die folgende Abbildung zeigt die maximalen prozentualen Veränderungen der isometrischen Maximalkraftwerte der Trainingsgruppen (vgl. Abbildung 70):

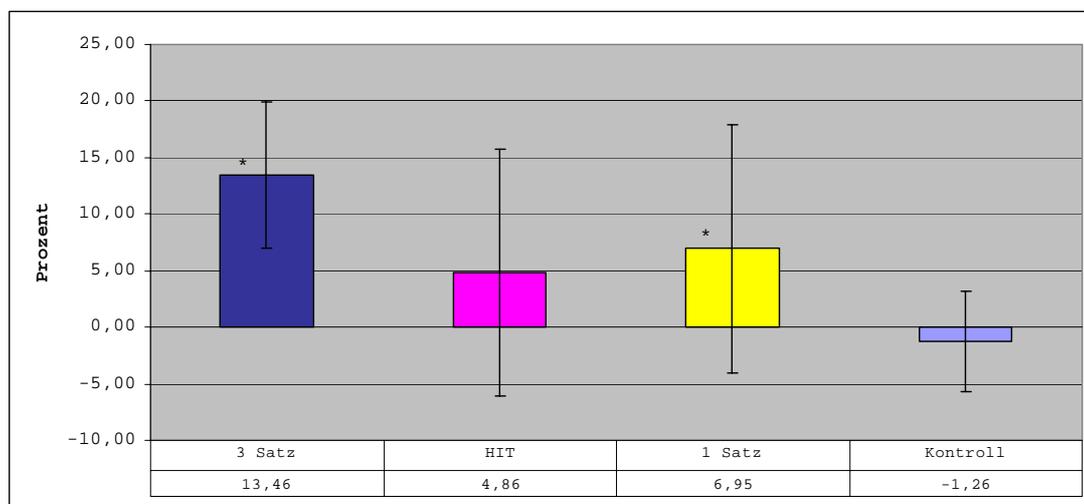


Abbildung 70: Maximale prozentuale Veränderung der isometrischen Maximalkraft und der Kontrollgruppe (K2-K5)
* $p < 0,05$

Eine inferenzstatistische Überprüfung¹⁷¹ der während der Trainingsphase erreichten größten isometrischen Maximalkraftzuwächse der Gruppen ergibt für die Dreisatz-Trainingsgruppe eine signifikante ($z = -2,201$; $p = 0,028$) Steigerung der isometrischen Maximalkraft von 13,46% ($\pm 6,42$) nach der 11. Trainingswoche. Die Einsatz-Trainingsgruppe zeigt nach der 10. Woche einen signifikanten Zuwachs ($z = -1,992$; $p = 0,046$) von 6,95% ($\pm 10,95$). Die maximalen Zuwächse der HIT-Trainingsgruppe von 4,86% ($\pm 10,88$) nach der 11. Trainingswoche erreichen nicht die Signifikanzgrenze ($z = -1,021$, $p = 0,307$). Die prozentualen isometrischen Maximalkraftgewinne unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Gruppen (H-Test nach Kruskal und Wallis; $p = 0,119$; $\chi^2 = 4,262$, $df = 2$).

¹⁷¹ Wilcoxon Test.

6.6.2 Kraftausdauer

Die folgende Abbildung zeigt die Kraftausdauereränderungen der Trainingsgruppen sowie der Kontrollgruppe (K2-K5).

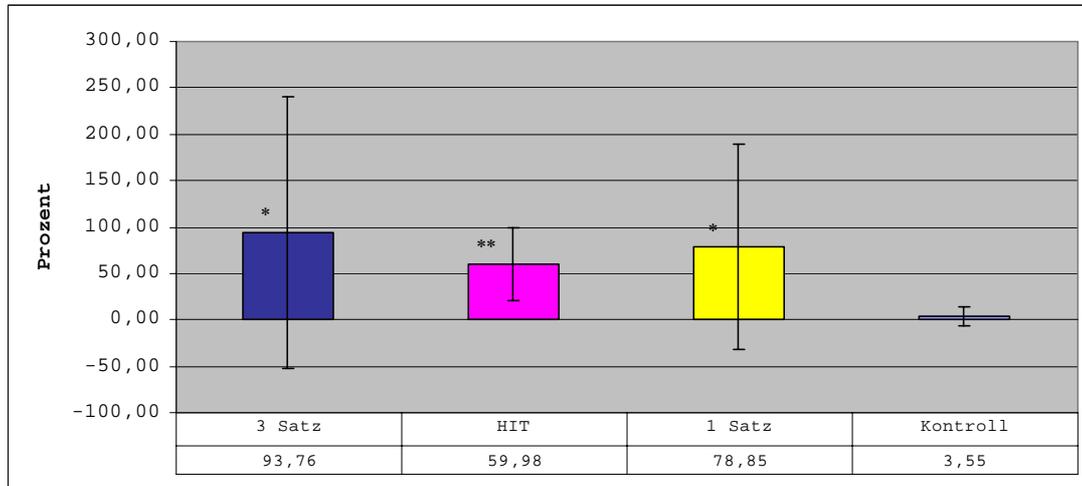


Abbildung 71: Maximale prozentuale Veränderung der Kraftausdauer der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (K2-K5)

* Signifikant $p < 0,05$
 ** Hoch signifikant $p < 0,01$

Es kommt bei allen Trainingsgruppen zu erheblichen Verbesserungen der Kraftausdauer (vgl. Abbildung 71). Die Kontrollgruppe (K2-K5) zeigt keine signifikanten Veränderungen der Kraftausdauer. Die Kraftausdauer der Dreisatz- und der Einsatz-Trainingsgruppe nimmt signifikant zu (Dreisatz-Trainingsgruppe: $z = -2,226$, $p = 0,026$; Einsatz-Trainingsgruppe: $z = -2,201$, $p = 0,028$). Die Kraftausdauer der HIT-Trainingsgruppe nimmt hoch signifikant zu ($z = -2,805$, $p = 0,005$). Die maximalen Kraftausdauererhöhungen werden für alle Trainingsgruppen nach der 12. Woche gemessen. Sie unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den Trainingsgruppen (H-Test nach Kruskal und Wallis; $p = 0,957$; $\chi^2 = 0,089$, $df = 2$).

6.6.3 Muskeldicke

Die gemittelte Muskeldicke wird in der folgenden Abbildung für die drei Trainingsgruppen und die Messpunkte D_{30} , D_{50} , D_{70} und D_{kom} dargestellt (vgl. Abbildung 72):

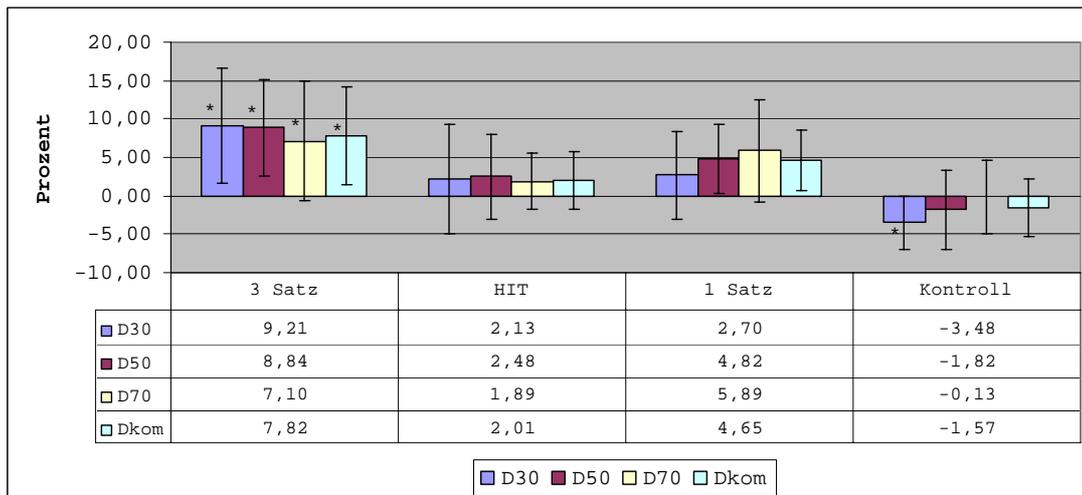


Abbildung 72: Maximale prozentuale Veränderung der Muskeldicke der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (K2-K5)
* Signifikant $p < 0,05$

Die maximalen Muskeldickenzunahmen der Dreisatz-Trainingsgruppe fallen für alle drei Messpunkte und D_{kom} größer aus als die Muskeldickenzunahmen der anderen Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (K2-K5). Die Dreisatz-Trainingsgruppe zeigt für alle Messpunkte eine signifikante Zunahme der Muskeldicke (vgl. Abbildung 72 und Tabelle 31)¹⁷². Die Reduzierung der Muskeldicke der Kontrollgruppe erreicht für den Messpunkt D_{30} die Signifikanzgrenze. Die Dreisatzgruppe verzeichnet die maximalen Muskeldickenzunahmen jeweils bei der Post-Messung. Einzige Ausnahme hiervon ist der Messpunkt D_{30} der Dreisatz-Trainingsgruppe. Für diesen Messpunkt ergibt sich der maximale Dickenzuwachs nach der 12. Trainingswoche. Die HIT-Gruppe verzeichnet für alle Messpunkte den maximalen Dickenzuwachs nach der sechsten Trainingswoche. Die Einsatz-Trainingsgruppe verzeichnet die maximale Zunahme der Muskeldicke für alle Messpunkte nach der 11. Trainingswoche. Die folgende Tabelle zeigt die inferenzstatistischen Daten der maximalen Muskeldickenveränderungen (vgl. Tabelle 31):

¹⁷² Wilcoxon-Test.

Tabelle 31: Inferenzstatistische Daten der maximalen prozentualen Muskeldickenveränderungen (Wilcoxon-Test)

	Dreisatz	z	p	HIT	Z	p	Einsatz	z	p	Kontroll	z	p
D30	9,21	-1,992	0,046	2,13	-0,663	0,508	2,70	-0,943	0,345	-3,48	-2,033	0,042
D50	8,84	-1,992	0,046	2,48	-1,682	0,093	4,82	-1,782	0,075	-1,82	-0,840	0,401
D70	7,10	-1,992	0,046	1,89	-1,478	0,139	5,89	-1,572	0,116	-0,13	-0,560	0,575
Dkom	7,82	-2,201	0,028	2,01	-1,478	0,139	4,65	-1,782	0,075	-1,57	-0,980	0,327

Die maximalen prozentualen Muskeldickenwerte unterscheiden sich zwischen den Gruppen nicht signifikant (H-Test nach Kruskal und Wallis)¹⁷³.

6.6.4 Körpergewicht und Körperfettanteil

Die maximalen prozentualen Gewichtsveränderungen betragen +1,48% ($\pm 1,33$) für die Dreisatz-Trainingsgruppe und +0,77% ($\pm 1,08$) bzw. +2,03% ($\pm 0,32$) für die HIT- und die Einsatz-Trainingsgruppe. Die maximalen Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils der Trainingsgruppen betragen +7,51% ($\pm 3,70$) (Dreisatz-Trainingsgruppe), +4,20% ($\pm 6,75$) (HIT-Trainingsgruppe) und +12,46% ($\pm 14,30$) (Einsatz-Trainingsgruppe). Das Körpergewicht der Kontrollgruppe (K2-K5) verändert sich vom Pre-Test zum Post-Test um -2,20% ($\pm 2,3$) und der Körperfettanteil verändert sich um -6,23% ($\pm 7,88\%$).

6.7 Zusammenhang zwischen der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft und der Muskeldicke D_{kom}

Für die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen den Veränderungen der Parameter isometrische Maximalkraft und Muskeldicke D_{kom} wurde die Rangkorrelation nach Kendall berechnet. Als Datenbasis dienten hierzu die gemittelten Werte dieser beiden Parameter aller in die Endanalyse einbezogenen Probanden der Trainingsgruppen über den Untersuchungszeitraum¹⁷⁴.

Die Berechnung ergibt einen signifikanten ($p=0,033$) Wert von $\tau=0,429$. Somit besteht nach den Angaben von Bös, Hänsel und Schott

¹⁷³ D₃₀: $p=0,138$; $\chi^2=3,962$, $df=2$; D₅₀: $p=0,188$; $\chi^2=3,354$, $df=2$; D₇₀: $p=0,195$; $\chi^2=3,266$, $df=2$;

D_{kom}: $p=0,110$; $\chi^2=4,417$, $df=2$.

¹⁷⁴ Pre-Test2 - Post-Test.

(2000, S. 169) ein mittlerer Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Parameter isometrische Maximalkraft und Muskeldicke D_{kom} .

7 Überprüfung der Hypothesen

Die folgenden Aussagen beziehen sich auf die Überprüfung der operationalen Hypothesen unter Anwendung des Vorzeichen-Trendtests von Cox und Stuart (vgl. Kapitel 4.1).

7.1 Überprüfung der Hypothesen zur Veränderung der Maximalkraft

Nur die Maximalkraftveränderungen der Mehrsatz-Trainingsgruppe zeigen einen signifikanten positiven Trend. Somit wird die Hypothese H1.2 angenommen und die Hypothesen H1.1 und H1.3 verworfen (vgl. Kapitel 6.1.2).

7.2 Überprüfung der Hypothesen zur Veränderung der Kraftausdauer

Alle drei Trainingsmethoden führen zu einem signifikanten monotonen Zuwachstrend der Kraftausdauer. Basierend auf diesen Ergebnissen werden somit die Hypothese H2.1, H2.2 und H2.3 angenommen (vgl. Kapitel 6.2.2).

7.3 Überprüfung der Hypothesen zur Veränderung der Muskeldicke

Die zeitreihenanalytische Überprüfung der operationalen Hypothesen H3.1.1-H3.4.3 zeigt für die Einsatz- und die Mehrsatz-Trainingsmethode identische Ergebnisse (vgl. Tabelle 27).

7.3.1 Muskeldicke D_{30}

Alle drei Trainingsinterventionen zeigen für die Muskeldicke des Messpunktes D_{30} weder einen signifikant positiven oder negativen Trend. Folglich werden die Hypothesen H3.1.1, H3.1.2 und H3.1.3 abgelehnt (vgl. Tabelle 27) .

7.3.2 Muskeldicke D_{50}

Die Einsatz- und die Mehrsatz-Trainingsgruppe zeigen für den Messpunkt D_{50} einen signifikant positiven Trend für die Entwicklung der Muskeldi-

cke. Somit werden die Hypothesen H3.2.1 und H3.2.2 angenommen und die Hypothese H3.2.3 verworfen.

7.3.3 Muskeldicke D_{70}

Wie für den Messpunkt D_{50} zeigen auch die Ergebnisse des Messpunktes D_{70} lediglich für die Einsatz- und die Mehrsatz-Trainingsmethode einen signifikanten positiven Wachstumstrend der Muskeldicke. Daher werden die Hypothesen H3.3.1 und H3.3.2 angenommen und die Hypothese H3.3.3 verworfen.

7.3.4 Muskeldicke D_{kom}

Auch das arithmetische Mittel D_{kom} der Messpunkte D_{30} , D_{50} und D_{70} zeigt lediglich für die Einsatz- und die Mehrsatz-Trainingsmethode einen signifikant positiven Wachstumstrend. Für die HIT-Trainingsgruppe sind weder signifikant positive, noch negative Trends festzustellen. Folglich werden die Hypothesen H3.4.1 und H3.4.2 angenommen und die Hypothese H3.4.3 verworfen.

8 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen die unterschiedlichen Entwicklungen der erhobenen Parameter. Die Veränderungen der isometrischen Maximalkraft und der Muskeldicke fallen im Verhältnis zu den Veränderungen der Kraftausdauer gering aus.

Die Durchführung eines dynamischen Maximalkrafttrainings mit einer für den Trainierenden optimalen Konfiguration der Belastungsnormative führt zu einer Steigerung der isometrischen Maximalkraft, der Kraftausdauer und der Muskelmasse der trainierten Muskulatur. Ein Krafttraining, welches mit universellen Vorgaben von Belastungsnormativen arbeitet, kann für den einzelnen Trainierenden durchaus auch zu einer Reduktion eines oder mehrerer der hier erhobenen Parameter führen. Tidow (1999) zeigt in seiner Arbeit entsprechende individuelle Belastungsreaktionen für die Muskelmasse des M. erector spinae.

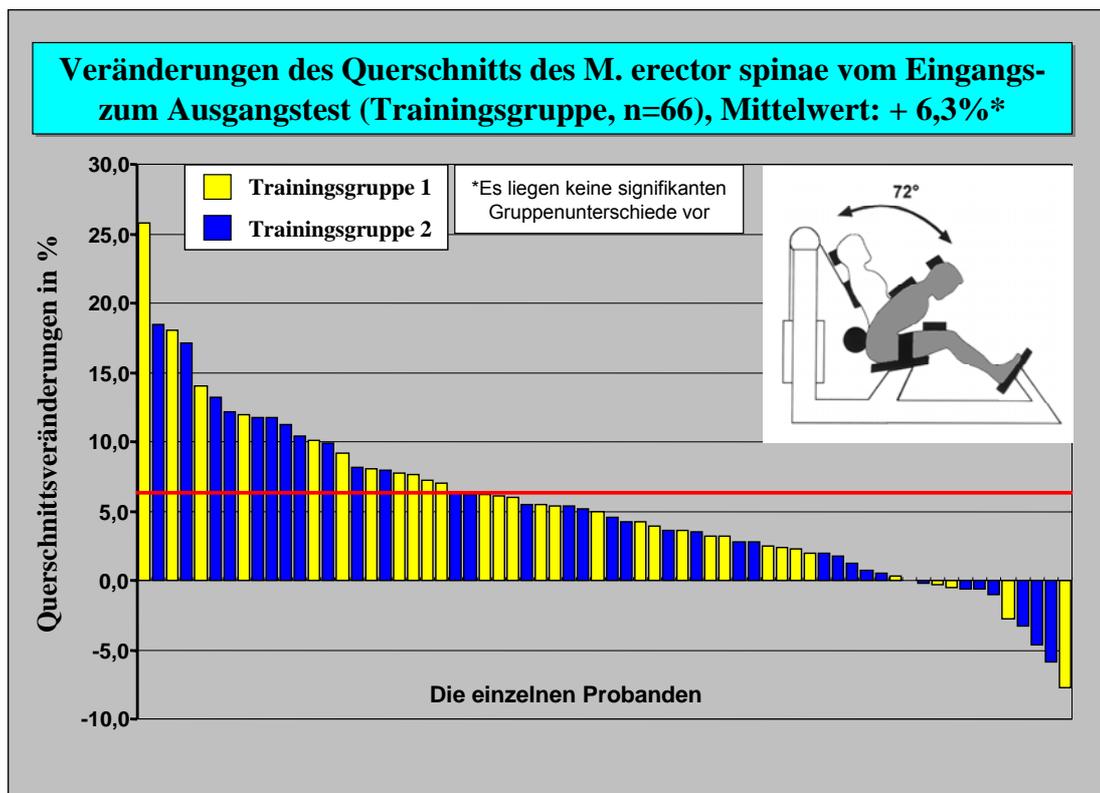


Abbildung 73: Individuelle trainingsinduzierte Querschnittsveränderungen des M. erector spinae nach einem dreimonatigem dynamischen Krafttraining. Die Trainingsgruppe 1 trainierte ein Mal pro Woche, die Trainingsgruppe 2 trainierte zwei Mal pro Woche. Es wurde jeweils ein ausbelastender Satz mit 12-15 WDH durchgeführt. (Tidow , 1999, S. 58)

Der Vergleich zwischen den gruppenspezifischen Entwicklungen und den individuellen Entwicklungen in Abbildung 73 zeigt, dass die Beurteilung der Effektivität einer Trainingsintervention an Hand der Gruppenmittelwerte keinesfalls unkritisch auf den Einzelfall übertragen werden darf. In der von Tidow (1999) gezeigten Studie erzielen die Probanden eine signifikante gemittelte Zunahme des Muskelquerschnitts des M. erector spinae von 6,3%. Allerdings führt das durchgeführte Krafttraining bei 11 von 66 Probanden nicht zu einer Muskelhypertrophie, sondern zu einer **Atrophie der trainierten Muskulatur**.

Tidow zeigt in seiner Arbeit nicht nur interindividuell unterschiedliche Reaktionen auf die Trainingsintervention. Auch intraindividuell führt ein identischer Trainingsreiz nicht zu identischen Reaktionen:

Hinterfragt man die Ursachen dieser bemerkenswerten Adaptationsvariabilität, so ist zunächst festzustellen, daß sich inferenzstatistisch kein überzufälliger intermuskulärer Zusammenhang der Querschnittszunahmen nachweisen ließ. Mit anderen Worten: Es war nicht möglich, auf Grund des individuell gezeigten Hypertrophie-Grades eines Muskels auf die Trainierbarkeit bzw. Flächenzunahme eines anderen Muskels desselben Pb zu schließen. Diese Erkenntnis veranlasst zu der Vermutung, daß es muskelspezifisch unterschiedlich große Adaptationsreserven gibt. Diese variieren nicht nur interindividuell, sondern auch intraindividuell. (Tidow, 1999, S. 61)

Bei den in unserer Studie beobachtbaren Reaktionen auf die unterschiedlichen Krafttrainingsmethoden zeigen sich ebenfalls starke interindividuelle sowie intraindividuelle Unterschiede, die bei der Diskussion der einzelnen Parameter erörtert werden.

8.1 Isometrische Maximalkraft

Die Überprüfung der Maximalkraft erfolgte in unserer Studie mit Hilfe von isometrischen Kraftmessungen auf einem Kraftmessstuhl. Auf Grund der

hohen Korrelation zwischen isometrischer und dynamischer Maximalkraft¹⁷⁵ bot sich diese Messmethode zur Beurteilung der Maximalkraftzuwächse an. Die besondere Eignung dieses Verfahrens für diese Studie wurde durch die höchst signifikante Korrelation ($p < 0,001$) von $\tau = 0,969$ zwischen der auf dem Kraftmessstuhl erhobenen isometrischen Maximalkraftwerte und den am SCHNELL-Beinstreckgerät ermittelten dynamischen Maximalkraftwerten dokumentiert (vgl. Tabelle 19).

Die zusammengefassten absoluten und relativen Maximalkraftwerte aller Trainingsgruppen zeigen über den Untersuchungszeitraum nur geringe Veränderungen. Zwar existiert ein hoch signifikanter Zusammenhang zwischen den gemittelten isometrischen Maximalkraftveränderungen beider Beine ($p = 0,003$). Er besitzt jedoch nur eine mittlere Stärke von $\tau = 0,580$ (vgl. Bös et al., 2000, S. 169). Die einzelfallanalytische Betrachtung der Probanden zeigt, dass eine identische Trainingsintervention durchaus zu unterschiedlichen Veränderungen der isometrischen Maximalkraft des linken und des rechten Beines führen kann.

Beispielsweise zeigt Proband P9 der HIT-Trainingsgruppe eine nicht signifikante Korrelation $\tau = 0,371$ ($p = 0,058$) der gemessenen isometrischen Maximalkraftwerte des linken und rechten Beines. Die isometrischen Maximalkraftwerte des Probanden P16 der HIT-Trainingsgruppe dagegen korrelieren mit $\tau = 0,651$ hoch signifikant ($p < 0,001$).

Die gruppenspezifischen Veränderungen der Maximalkraft werden in Abbildung 30-Abbildung 32 dargestellt. Für die HIT-Trainingsgruppe könnte die Verteilung von 3 weiblichen Probanden und 2 männlichen Probanden eine Ursache für geringere absolute Kraftzuwächse als bei den anderen beiden Trainingsgruppen darstellen (vgl. Abbildung 30). Der deutliche Einbruch der Einsatz-Trainingsgruppe nach der neunten Trainingswoche lässt sich teilweise durch eine Bronchitis des Probanden P12 erklären, welcher, trotz dieser Erkrankung, den Krafttest absolvierte.

Der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore zeigt für die Dreisatz-Trainingsgruppe und die Einsatz-Trainingsgruppe überzufällig wenige Vorzeichenwechsel. Der Trendtest von Cox und Stuart belegt allerdings

¹⁷⁵ Vgl. Güllich & Schmidtbleicher, 1999.

nur für die Dreisatz-Trainingsgruppe einen signifikanten Zuwachs der isometrischen Maximalkraft. Die Betrachtung der größten isometrischen Maximalkraftveränderungen unterstützt die Zeitreihenanalyse der Daten. Die größten signifikanten Zuwächse erzielt die Dreisatz-Trainingsgruppe mit 13,46% ($\pm 6,42$) nach der 11. Trainingswoche. Auch die Einsatz-Trainingsgruppe erzielt mit 6,95% ($\pm 10,95$) eine signifikante Verbesserung ihrer isometrischen Maximalkraft. Die HIT-Trainingsgruppe erreicht eine nicht-signifikante Verbesserung ihrer isometrischen Maximalkraft von 4,86% ($\pm 10,88$). Die Kontrollgruppe zeigt eine Reduzierung von -1,23% ($\pm 4,58$). Weder Proband K1 noch die Probanden K2-K5 zeigen signifikante Veränderungen ihrer isometrischen Maximalkraft.

Die Einzelfallbetrachtung unterstützt zum großen Teil die gruppenspezifischen Ergebnisse. Einzelne Probanden reagieren gegen die jeweiligen Gruppentrends besonders positiv oder auch besonders negativ auf die durchgeführte Trainingsintervention. Die HIT Trainingsgruppe erreicht beispielsweise den geringsten gruppenspezifischen Maximalkraftzuwachs. Der Proband P16 (vgl. Abbildung 74) zeigt dagegen eine deutliche Zunahme der isometrischen Maximalkraft von maximal 21,03% für das linke Bein und 24,63% für das rechte Bein. Hierbei liefert der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore für das rechte Bein ein signifikantes Ergebnis und deutet somit auf einen vorhandenen Trend der Kraftwerte. Der Trendtest von Cox und Stuart zeigt sowohl für das linke als auch für das rechte Bein einen signifikant positiven Trend (vgl. Anhang C1).

Der Proband P9 der HIT-Trainingsgruppe zeigt zwar für das rechte Bein nach der vierten Trainingswoche eine Steigerung der isometrischen Maximalkraft um 13,67%, allerdings verringert sich der Kraftzuwachs bis auf 1,53% für den Post-Test. Das rechte Bein des Probanden P9 zeigt nur nach der vierten Trainingswoche einen Kraftzuwachs von 1,06%.

Die übrigen Kraftmessungen zeigen zum Teil deutliche Verminderungen der isometrischen Maximalkraft des rechten Beines des Probanden P9. Der Post-Test ergibt mit -14,11% eine deutliche Reduktion der isometrischen Maximalkraft des rechten Beines. Die inferenzstatistische Überprüfung mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore ergibt keine signi-

fikante Abweichung von der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen (vgl. Anhang C1). Der Trendtest von Cox und Stuart bestätigt allerdings einen **signifikant (p=0,044) negativen Trend der Maximalkraftentwicklung** für das rechte Bein des Probanden P9 (vgl. Abbildung 74):

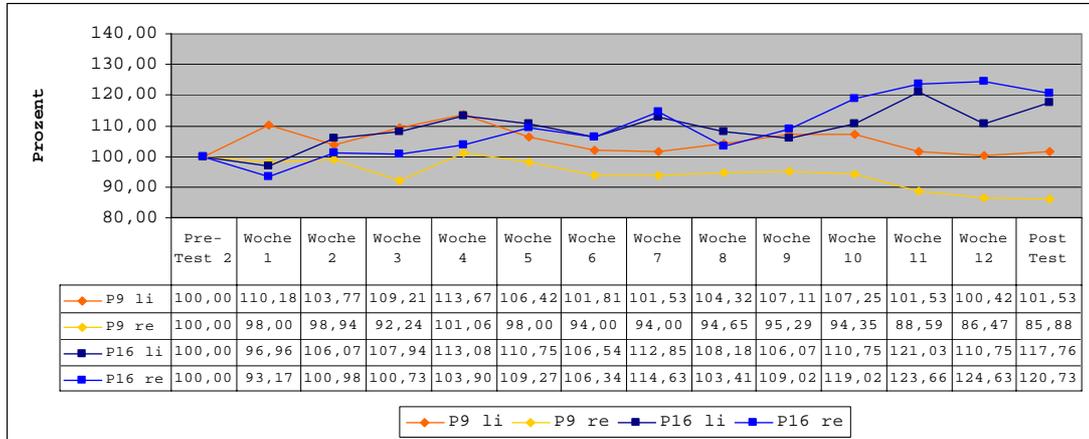


Abbildung 74: Prozentuale Veränderungen der isometrischen Maximalkraft der Probanden P9 und P16 der HIT-Trainingsgruppe

Die in der Tabelle 13 auf Seite 114 aufgeführten Studien belegen ein sehr weites Spektrum von möglichen Veränderungen des Parameters isometrische Maximalkraft durch ein dynamisches Krafttraining. Die in unserer Studie gemessenen maximalen Steigerungen der isometrischen Maximalkraft von 13,46% der Dreisatz-Trainingsgruppe bzw 6,95% der Einsatz-Trainingsgruppe erscheinen im Verhältnis zu den Kraftsteigerung der Studien von Braith et al. (1989), Starkey et al. (1996), Häkkinen et al. (1985) und Rutherford und Jones (1986) als sehr gering. Besonders auffällig ist die Diskrepanz zwischen den Steigerungen der Einsatz-Trainingsgruppe in unserer Studie und den Kraftsteigerungen der Einsatz-Trainingsgruppen in den Studien von Braith et al. (1989) und Starkey et al. (1996) (vgl. Tabelle 13). Beispielsweise übersteigt der isometrische Kraftzuwachs der Einsatz-Trainingsgruppe in der Studie von Starkey et al. (1996) den isometrischen Kraftzuwachs der Einsatz-Trainingsgruppe in unserer Studie um mehr als das Vierfache. Allerdings handelte es sich beiden Probanden in der Untersuchung von Starkey et al. (1996) im Gegensatz zu unserer Studie um untrainierte Probanden.

Die aktuellen Studien von Paulsen et al. (2003) und Hass et al. (2000) dagegen zeigen nur geringe Zuwächse der isometrischen Maximalkraft. Hass

et al. (2000) ermittelten signifikante isometrische Kraftzuwächse von 6,3% für die Einsatz-Trainingsgruppe und 6,8% für die Mehrsatz-Trainingsgruppe. Die Methodik der Studie von Hass et al. (2000) ähnelt der Methodik unserer Studie. In dieser Studie absolvierten die Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe allerdings nicht 3 Sätze an einem Krafttrainingsgerät und wechselten dann zum nächsten Gerät, sondern sie absolvierten drei Durchgänge eines Kraftzirkels.

In der Arbeit von Paulsen et al. (2003) betragen die isometrischen Kraftgewinne 3,6% für die Einsatz-Trainingsgruppe und 8,7% für die Dreisatz-Trainingsgruppe. Der Kraftzuwachs der Dreisatz-Trainingsgruppe erreicht statistische Signifikanz ($p < 0,05$). Die Kraftgewinne der Einsatz-Trainingsgruppe erreichen nicht die Signifikanzgrenze. Die Studie von Paulsen et al. (2003) wurde ebenso wie die Studien von Braith et al. (1989) und Starkey et al. (1996) mit untrainierten Probanden durchgeführt. Somit kann der geringere Kraftzuwachs nicht mit einem geringeren Adaptationspotential der Probanden in Folge ihrer Trainingserfahrung begründet werden. Zudem absolvierten die Probanden in der Studie von Paulsen et al. (2003) an jedem Trainingstermin zwei Trainingsübungen für die Beinmuskulatur¹⁷⁶. In den Studien von Braith et al. (1989) und Starkey et al. (1996) wurde jeweils nur eine Übung für die Beinstreckmuskulatur ausgeführt. Allerdings muss bei Betrachtung der Studie von Paulsen et al. (2003) der kürzere Untersuchungszeitraum von sechs Wochen berücksichtigt werden.

Interessanterweise postuliert Paulsen et al. (2003) eine Überlegenheit eines Mehrsatz-Trainings nur für die Muskulatur der unteren Extremitäten. Für den Oberkörper kann er keinen Unterschied zwischen einem Einsatz-Training und einem Dreisatz-Training feststellen. Er begründet seine Beobachtung mit der größeren Alltagsbelastung der Beinmuskulatur (vgl. Paulsen et al., 2003, S. 119).

In der Studie von Ahtiainen et al. (2003a) erreichen untrainierte Probanden nach einem Mehrsatz-Krafttraining von 21 Wochen einen signifikanten ($p < 0,05$) isometrischen Kraftzuwachs von 21,0%. Dieser Wert liegt zwar deutlich über den isometrischen Kraftgewinnen der Dreisatz-Trainingsgruppe

¹⁷⁶ Kniebeuge und Beinstrecken.

in unserer Studie, allerdings war der Untersuchungszeitraum in der Studie von Ahtiainen et al. (2003a) deutlich länger.

Verschiedene Faktoren können für die stark differierenden Veränderungen der isometrischen Maximalkraft in den dargestellten Studien verantwortlich sein. Eine schon angesprochener Einflussgröße ist die Trainingserfahrung der Probanden. Die unterschiedliche Studiendauer sowie unterschiedliche Trainingsgeräte und Trainingsübungen können ebenfalls die isometrischen Maximalkraftgewinne beeinflussen. In den Studien von Hass et al. (2000), Rutherford & Jones (1986) und Starkey et al. (1996) wurde jeweils eine Trainingsübung für die Beinstreckmuskulatur durchgeführt. In den Studien von Ahtiainen et al. (2003a) und Paulsen et al. (2003) wurden jeweils zwei Übungen für die Beinstreckmuskulatur absolviert. Häkkinen et al. (1985) nahmen zusätzlich zum auxotonischen Krafttraining ein exzentrisches Krafttraining in das Trainingsprotokoll auf.

In den Studien von Braith et al. (1989), Starkey et al. (1996) und Hass et al. (2000) wurde die isometrische Kraft nicht nur für einen Kniegelenkwinkel, sondern für mehrere Winkelpositionen bestimmt. Die in der Tabelle 13 dargestellten Zuwächse der isometrischen Maximalkraft dieser Studien beschreiben jeweils den größten gemessenen Kraftzuwachs (Braith et al., 1989; Starkey et al., 1996) bzw. den gemittelten Kraftzuwachs aller Winkelstellungen (Hass et al., 2000). In der Studie von Starkey et al. (1996) wurden die in Tabelle 13 dargestellten Kraftzuwächse nicht bei einem Kniegelenkwinkel von 90° erreicht, sondern bei 60° . Die prozentualen Kraftzuwächse bei einem Kniegelenkwinkel von 96° , einer Winkelstellung die der von uns verwendeten Winkelstellung von 90° am ehesten entsprach, betragen 20,9% für die Einsatz-Trainingsgruppe bzw. 20,0% für die Dreisatz-Trainingsgruppe.

Die in unserer Studie absolvierte einwöchige Kraftgewöhnungsphase könnte eine mögliche Ursache für die im Vergleich mit den Kraftgewinnen in den Studien von Braith et al. (1989) und Starkey et al. (1996) geringeren Kraftgewinne der Einsatz-Trainingsgruppe sein. In den Studien von Braith et al. (1989) und Starkey et al. (1996) wurde keine derartige Gewöhnungsphase durchgeführt. Da die maximalen prozentualen Kraftgewinne in unserer Studie

basierend auf den im Pre-Test 2¹⁷⁷ erhobenen Werten ermittelt wurden, werden die isometrischen Kraftverbesserungen, die in der ersten Kraftgewöhnungswoche erzielt wurden, nicht berücksichtigt. Die Einsatz-Trainingsgruppe erzielte zwischen dem Pre-Test 1 und dem Pre-Test 2 eine prozentuale Kraftverbesserung von 8,21% ($\pm 11,03$). Basierend auf dem Pre-Test 1 beträgt die maximale Kraftverbesserung der Einsatz-Trainingsgruppe 14,85% ($\pm 5,99$). Die entsprechenden maximalen Kraftverbesserungen der Dreisatz-Trainingsgruppe und der HIT-Trainingsgruppe betragen 13,46% ($\pm 4,21$) bzw. 9,36% ($\pm 11,65$).

Ohne die in dieser Studie eingesetzte Kraftgewöhnungsphase wäre es somit zu einem deutlicheren Anstieg der isometrischen Maximalkraft gekommen. Zudem hätte die Einsatz-Trainingsgruppe die höchsten isometrischen Maximalkraftgewinne zu verzeichnen. In der Studie von Paulsen et al. (2003) wurde zwar kein einwöchiges Gewöhnungstraining absolviert, aber es wurden zwei Probe-Krafttrainingseinheiten vor der eigentlichen Studie durchgeführt. Die Probanden der Studie von Hass et al. (2000) hatten vor dem Beginn der eigentlichen Studie über 1 Jahr den auch in der Untersuchung genutzten Kraftzirkel durchlaufen. In den Studien von Starkey et al. (1996) und Braith et al. (1989) werden keine Kraftgewöhnungsphasen erwähnt.

¹⁷⁷ Nach der einwöchigen Kraftgewöhnungsphase.

8.2 Kraftausdauer

Im Gegensatz zur isometrischen Maximalkraft und zur Muskeldicke zeigen sich in unserer Studie große Veränderungen des Parameters Kraftausdauer. Zwischen den Kraftausdaueränderungen beider Beine der Probanden besteht mit $\tau = 0,900$ ein höchst signifikanter Zusammenhang von hoher Stärke (vgl. Abbildung 39).

Im Gegensatz zur Entwicklung der isometrischen Maximalkraft erreichen alle Trainingsgruppen nach der 12. Trainingswoche ihren maximalen prozentualen Kraftausdauerzuwachs. Der Krafttest nach der einwöchigen Detrainingsphase ergibt für alle drei Trainingsgruppen eine Reduzierung der Kraftausdauer (vgl. Abbildung 41). Den größten prozentualen Zuwachs der Kraftausdauer erreicht die Dreisatz-Trainingsgruppe mit 93,76% ($\pm 101,98$). Die Einsatz-Trainingsgruppe erreicht einen Zuwachs der Kraftausdauer von 78,84%, ($\pm 87,95$) die HIT-Trainingsgruppe erreicht 59,97% ($\pm 38,31$). Die inferenzstatistische Überprüfung der Kraftausdaueränderungen mit dem Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore und dem Trendtest von Cox und Stuart bestätigt die Signifikanz der Wachstumstrends der drei Trainingsgruppen. Die einzige Ausnahme bildet hier der Folgevorzeichen-Iterationstest von Wallis und Moore der Einsatz-Trainingsgruppe (vgl. Tabelle 22 und Tabelle 24).

Die inferenzstatistische Überprüfung von gruppenspezifischen Unterschieden zwischen dem Pre-Test 2 und dem Test nach der zwölften Woche ergeben für die Dreisatz- und die Einsatz-Trainingsgruppe signifikante und für die HIT-Trainingsgruppe hoch signifikante Zuwächse¹⁷⁸ (vgl. Abbildung 41). Die Probanden K2-K5 der Kontrollgruppe zeigen keinerlei signifikante Veränderungen der Kraftausdauer. Der Proband K1 dagegen zeigt deutliche Verbesserungen der Kraftausdauer von maximal 70,83% für das linke Bein und 48,15% für das rechte Bein (vgl. Abbildung 63). Der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart bestätigt für das linke Bein des Probanden K1 einen signifikanten Wachstumstrend.

¹⁷⁸ Wilcoxon-Test.

Wie bei der Maximalkraft zeigt sich auch für den Parameter Kraftausdauer die stark unterschiedliche Belastungsreaktion der Probanden. Die folgende Grafik verdeutlicht dies am Beispiel der Dreisatz-Trainingsgruppe¹⁷⁹.

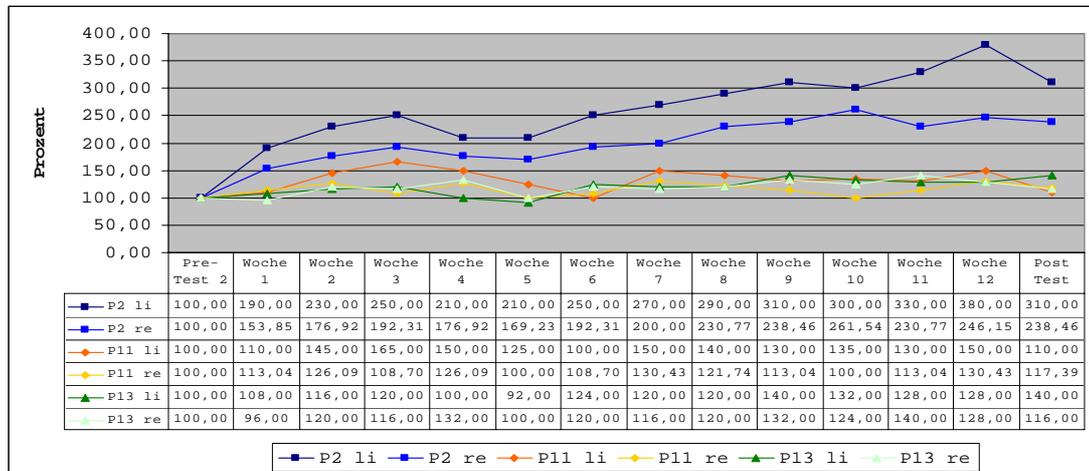


Abbildung 75: Prozentuale Veränderungen der Kraftausdauer (WDH) der Dreisatz-Trainingsgruppe

Der Proband P2 zeigt einen maximalen Zuwachs der Kraftausdauer des linken Beines von 280,00% und des rechten Beines von 161,54%. Der Proband P13 zeigt dagegen für beide Beine einen maximalen Zuwachs der Kraftausdauer von 40,00% (vgl. auch Abbildung 75).

Der Parameter der Kraftausdauer wird bei Krafttrainingsstudien seltener erhoben als die Parameter der dynamischen oder isometrischen Maximalkraft und der Muskelhypertrophie. Zimmermann (2000) stellt hierzu fest: "Im Verhältnis zu der Vielzahl der Studien, die sich mit den Auswirkungen des Krafttrainings auf Maximalkraft bzw. Muskelmasse befassen, liegen nur wenige Untersuchungsergebnisse zur trainingsbedingten Entwicklung der allgemeinen Kraftausdauer vor" (S. 44). Zimmermann (2000, S. 45) gibt prozentuale Verbesserungen der Kraftausdauer zwischen 9,8% und 59,3% für Männer und 17% bis 60,1% nach einem 7- bis 12-wöchigem intensiven isotonischen Krafttraining mit kraftuntrainierten Probanden an¹⁸⁰.

In der schon erwähnten Studie von Hass et al. (2000) wurden ebenfalls die Auswirkungen der Trainingsinterventionen auf den Parameter Kraft-

¹⁷⁹ Wie auch für den Parameter zeigt sich die individuelle Belastungsreaktion nicht nur für die Dreisatz-Trainingsgruppe, sondern auch für die anderen Trainingsgruppen (vgl. Anhang C2).

¹⁸⁰ Der Autor nennt leider nicht die einzelnen Studien, sondern gibt nur eine Studienzahl von 10 in die Analyse einbezogenen Studien an.

ausdauer überprüft. Hierzu wurde die maximale Wiederholungszahl bei 75% des Einerwiederholungsmaximums erhoben. Die Kraftausdauer tests wurden für die Übungen Bankdrücken und Beinstrecken absolviert. Die Einsatz-Gruppe und die Dreisatz-Gruppe¹⁸¹ erzielten für die Beinstrecker signifikante ($p < 0,05$) Verbesserungen von 49,5% bzw. 66,7%. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kraftausdauer Verbesserungen der Einsatz- und der Dreisatz-Gruppe. Interessanterweise zeigt sich hier wie auch in unserer Studie eine tendenziell größere Steigerung der Kraftausdauer durch das höhervolumige Krafttraining.

Die Ergebnisse von Marx et al. (2001) unterstreichen ebenfalls die Bedeutung des Krafttrainingsvolumens für die Verbesserung der Kraftausdauer. Die Autoren untersuchten die Auswirkungen zweier Krafttrainingsmethoden mit unterschiedlichen Belastungsumfängen auf Maximalkraft, Schnellkraft, Bewegungsgeschwindigkeit, Kraftausdauer, anthropometrische Parameter und hormonelle Reaktionen. Der Untersuchungszeitraum betrug 24 Monate. Die Kraftausdauer wurde mit 80% des Einerwiederholungsmaximums bestimmt. Die Mehrsatz-Trainingsgruppe erzielte einen gemittelten Zuwachs der Kraftausdauer der Übungen Bankdrücken und Beinpresse von 42%. Die Einsatz-Trainingsgruppe erzielte einen gemittelten Zuwachs von 14%. Allerdings betrug die Trainingshäufigkeit der Mehrsatz-Gruppe vier Trainingseinheiten pro Woche und die Trainingshäufigkeit der Einsatz-Gruppe nur drei Einheiten. Zudem wurde das Trainingsprogramm der Mehrsatz-Gruppe periodisiert, das Programm der Einsatz-Gruppe jedoch nicht.

Rhea et al. (2003) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen von drei verschiedenen Periodisierungsmodellen eines dynamischen Krafttrainings auf die Kraftausdauer und Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur. Die männlichen und weiblichen Probanden¹⁸² (N=60) trainierten¹⁸³ an einer Beinstreckmaschine (Cybex 4611) über einen Zeitraum von 15 Wochen jeweils zwei Mal wöchentlich. Es wurde ein Dreisatz-Training mit 15-25 WDH durchgeführt. Rhea et al. (2003) nutzten die Wiederholungszahl mit einem vorgegebenen Gewicht zur Bestimmung der Kraftausdauer. Im Ge-

¹⁸¹ Es handelte sich um 3 Durchgänge eines Kraftzirkels.

¹⁸² Die Probanden besaßen zwischen 1 und 5 Jahren Krafttrainingserfahrung.

¹⁸³ Die Krafttests wurden ebenfalls an dieser Maschine durchgeführt.

gensatz zu unserer Studie wurde jedoch nicht ein bestimmter Prozentwert der Maximalkraft verwendet, sondern die Autoren wählten ein Gewicht, welches 50% des Körpergewichtes des Probanden entsprach. Die drei Trainingsgruppen erreichten signifikante Verbesserungen ($p \leq 0,05$) ihrer Kraftausdauer von 54,5% ($\pm 56,1$), 55,9% ($\pm 48,9$) und 72,8% ($\pm 77,9$). Obwohl die drei Trainingsgruppen ein Kraftausdauerprogramm im genannten Wiederholungszahlenbereich absolvierten, erzielten die Probanden Verbesserungen der dynamischen Maximalkraft¹⁸⁴ von bis zu 9,8% ($\pm 21,3$).

Fröhlich untersuchte in seiner Arbeit die Auswirkungen eines Krafttrainings mit konstanter Last bzw. konstanter Wiederholungszahl auf die konzentrische Maximalkraft sowie die absolute bzw. relative Kraftausdauer. Die Treatmentgruppe, die mit einer konstanten Last trainierte, zeigte nach einem sechswöchigem Krafttraining¹⁸⁵ eine Steigerung der relativen Kraftausdauer¹⁸⁶ von 51,2% (Fröhlich, 2003, S. 184). Die Treatmentgruppe, die mit einer konstanten Wiederholungszahl trainierte, zeigte nach einem sechswöchigem Krafttraining eine Steigerung der relativen Kraftausdauer von 24% (Fröhlich, 2003, S. 184).

Interessant sind ebenfalls die großen interindividuellen Schwankungen bei den prozentualen Veränderungen der relativen Kraftausdauer in den Treatmentgruppen, die Fröhlich (2003) in seiner Studie präsentiert (vgl. Abbildung 76).

¹⁸⁴ Test des Einerwiederholungsmaximums (1 RM).

¹⁸⁵ Die genannten Steigerungen beziehen sich auf die Treatmentgruppe, die mit konstanter Last trainierte. Es wurden insgesamt 9 Freizeitsportler auf 2 Treatment-Gruppen und eine Kontrollgruppe verteilt. Die Treatmentgruppen führten ein zwei Mal wöchentliches Training mit konstanter Last (60% des 1 RM) bzw. mit konstanter Wiederholungszahl (20 Wiederholungen) durch. Über den Trainingszeitraum wurden jeweils 12 Trainingseinheiten mit 6 Sätzen (Bankdrücken) absolviert. Es wurde jeweils ein Eingangstest, ein Ausgangstest und ein Überdauerungstest (nach einer zweiwöchigen Detrainingsphase) durchgeführt. Es wurden jeweils die konzentrische Maximalkraft sowie die absolute bzw. relative Kraftausdauer erhoben (Fröhlich, 2003, S. 181).

¹⁸⁶ Wiederholungszahl bei 60% des 1 RM.

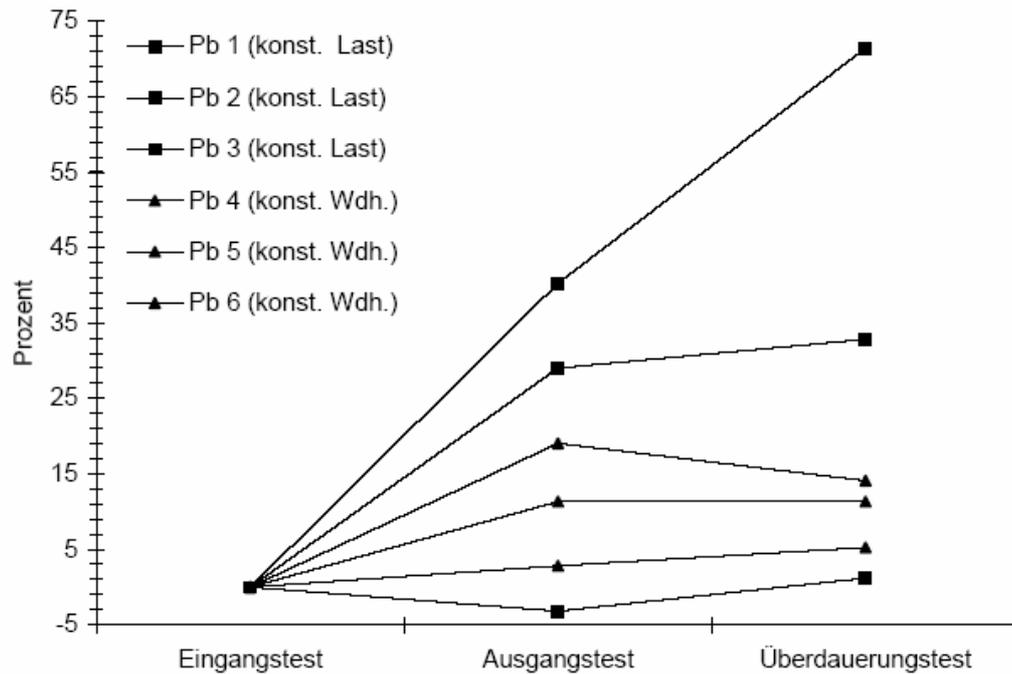


Abbildung 76: Prozentuale Veränderung der relativen Kraftausdauer (Nm) vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest der Probanden der Treatmentgruppen (aus Fröhlich, 2003, S. 186)

Besonders für die Gruppe "konstante Last" fällt die große Spannweite der Werte auf. Die Gruppe "konstante Wiederholungen" zeigt eine geringere Spannweite der Werte. Sowohl die Ergebnisse von Fröhlich (2003) als auch unsere eigenen Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der jeweiligen Adaptationskapazitäten der Probanden für mögliche Kraftausdauererfolge.

Die hier dargestellten Studien zeigen starke Verbesserungen der Kraftausdauer durch die eingesetzten Trainingsinterventionen und unterstützen damit die Ergebnisse unserer Studie.

Die Kraftausdauererhebungen des Probanden K1 belegen einen starken Effekt des Kraftausdauererhebtes auf den zu untersuchenden Parameter Kraftausdauer (vgl. Abbildung 63). Diese Beobachtung wirft die Frage auf, ob eine Trainingsfrequenz von mehreren Trainingseinheiten pro Woche zur optimalen Steigerung der Kraftausdauer notwendig ist.

McLester, Bishop und Williams (2000) untersuchten in ihrer Studie die Auswirkungen unterschiedlicher Trainingsfrequenzen unter anderem auf den Parameter dynamische Maximalkraft. 18 krafttrainingserfahrene Probanden wurden auf 2 Trainingsgruppen verteilt. Die erste Gruppe führte ein

Ganzkörper-Krafttraining ein Mal pro Woche mit 3 Sätzen und die zweite Gruppe drei Mal pro Woche mit jeweils einem Satz durch. Die Maximalkraftverbesserungen¹⁸⁷ betragen für die Übung Beinstrecken 34,1% für die Trainingsgruppe, die ein Mal pro Woche trainierte und 32,7% für die Trainingsgruppe, die drei Mal pro Woche trainierte. Das Krafttrainingsprogramm umfasste zwei Übungen für die Beinstreckmuskulatur¹⁸⁸.

Graves et al. (1988) untersuchten die Auswirkungen reduzierter Trainingsfrequenzen auf die Maximalkraft. 24 Männer und 26 Frauen trainierten über einen Zeitraum von 12 Wochen ihre Beinstreckmuskulatur mit einer Trainingsfrequenz von 1-2 Trainingseinheiten pro Woche, nachdem sie zuvor ein 10- bzw. ein 18-wöchiges Krafttraining mit einer Trainingsfrequenz von 2-3 Trainingseinheiten pro Woche absolviert hatten. Eine Reduzierung der Trainingsfrequenz von 3 Trainingseinheiten pro Woche auf eine Trainingseinheit pro Woche führte nicht zu einer signifikanten Verminderung der isometrischen Maximalkraft¹⁸⁹.

Auch wenn in diesen Untersuchungen der Parameter Kraftausdauer nicht erhoben wurde, verdeutlichen diese Studien dennoch die Effektivität von Krafttrainingsprogrammen mit einer geringen Trainingsfrequenz. Die ausschließliche Verbesserung der Kraftausdauer der Beinstreckmuskulatur des Probanden K1 lässt sich mit der niedrigen Belastungsintensität des Kraftausdauertests in unserer Studie begründen.

8.3 Muskeldicke

Die Muskeldicke der Trainingsgruppen zeigen geringe prozentuale Veränderungen (vgl. Abbildung 48-Abbildung 51). Die Veränderungen der Muskeldicke der Messpunkte weisen nur teilweise signifikante Zusammenhänge auf (vgl. Tabelle 25). Diese Beobachtungen werden durch Untersuchungen von Narici et al. (1996) und Narici, Roi, Landoni, Minetti, und Cerretelli (1989) gestützt. Die Autoren wiesen in ihren Studien eine ungleichmäßige Hypertrophie des M. quadrizeps femoris als Folge von Krafttrainings-

¹⁸⁷ Einwiederholungsmaximum.

¹⁸⁸ Beinstrecken und Beinpresse.

¹⁸⁹ In der ersten Trainingsphase mit einer Trainingsfrequenz von 2 - 3 Einheiten pro Woche erreichten die Probanden hoch signifikante Kraftsteigerungen von 16,7% bzw. 25,8%.

interventionen nach. Hierzu untersuchten sie den Querschnitt des M. quadrizeps femoris mittels Kernspintomographie. Zwar zeigen die Veränderungen der Muskeldicke des M. quadrizeps femoris große inter- und intraindividuelle Unterschiede, auffallend ist jedoch die Übereinstimmung der Muskeldicken dieses Muskels im Seitenvergleich der Beine (vgl. Abbildung 46 und Abbildung 47). Auch Fröhner und Börnert (1994, S. 37) beschreiben die harmonische Ausprägung der Muskeldicken dieses Muskels im Seitenvergleich.

Die Dreisatz-Trainingsgruppe zeigt für den Parameter Muskeldicke wie auch für die isometrische Maximalkraft und die Kraftausdauer den größten prozentualen Zuwachs. Für den mittleren der drei Messpunkte D_{50} betragen die maximalen prozentualen Zunahmen der Muskeldicke der Dreisatz-, HIT- und Einsatz-Trainingsgruppen 8,84% ($\pm 6,35$), 2,48% ($\pm 5,60$) und 4,82% ($\pm 4,49$) (vgl. Abbildung 72). Die Muskeldicke für den Messpunkt D_{50} der Kontrollgruppe verringert sich von der ersten Messung zur zweiten Messung um 1,82% ($\pm 5,14$). Für die gemittelte Muskeldicke der drei Messpunkte D_{kom} beträgt die maximale prozentuale Zunahme der Muskeldicke der Dreisatz-Trainingsgruppe 7,82% ($\pm 6,36$). Für die Einsatz-Trainingsgruppe beträgt die prozentuale Zunahme D_{kom} 4,65% ($\pm 3,87$), für die HIT-Trainingsgruppe beträgt sie 2,01% ($\pm 3,69$). Die Muskeldicke von D_{kom} der Kontrollgruppe verringerte sich um 1,57% ($\pm 3,73$).

Die Untersuchung von Abe et al. (2000) ist für die Beurteilung der in unserer Studie ermittelten Muskeldickenveränderung des M. quadrizeps femoris aus mehreren Gründen von besonderer Bedeutung¹⁹⁰. Die Messung der Muskeldicke der Oberschenkelstreckmuskulatur erfolgte, wie in unserer Studie jeweils an drei Messpunkten mittels Ultraschall. In der Studie von Abe et al. (2000) wurden die Messpunkte bei 30%, 50% und 70% der Distanz vom Trochanter major zur lateralen Femurkondyle gewählt¹⁹¹. Abe et al. (2000) verwendeten in ihrer Arbeit ebenfalls ein Zeitreihendesign, allerdings erfolgten ihre Messungen nicht in einem wöchentlichen sondern in einem

¹⁹⁰ Auf Grund der Bedeutung dieser Studie wird die Methodik an dieser Stelle im Detail erläutert, obwohl Teile schon früher in dieser Arbeit behandelt wurden (vgl. S. 56).

¹⁹¹ Ausgehend vom Trochanter major.

ungefähr zweiwöchigen Abstand¹⁹². Die untersuchten Parameter waren die dynamische Maximalkraft für die Übungen Bankdrücken und Beinstrecken, die per Ultraschall ermittelte Muskeldicke an acht unterschiedlichen anatomischen Positionen sowie das Körpergewicht und der prozentuale Körperfettanteil. Die Probanden hatten innerhalb 1 Jahres vor Studienbeginn an keinem Krafttraining teilgenommen und litten unter keinen chronischen kardiovaskulären, oder orthopädischen Erkrankungen. Die Probanden wurden auf 2 Trainingsgruppen verteilt, die über einen Zeitraum von 12 Wochen ein Ganzkörperkrafttraining mit jeweils 1 Satz oder 3 Sätzen mit 8-12 WDH durchführten. Die Trainingsfrequenz betrug für beide Trainingsgruppen 3 Trainingseinheiten pro Woche. Eine Kontrollgruppe (N=13) wurde in einem Abstand von 3 Monaten zwei Mal dem Testprotokoll unterzogen. Die Autoren fassten die Daten der beiden Trainingsgruppen folgendermaßen zusammen: "Since there was no statistical difference in the magnitude of training effect between one and three sets in either sex (DeHoyos et al. 1998; Pollock et al. 1998), all data were pooled for further analysis" (Abe et al., 2000, S. 175).

Ein Vergleich der Muskeldickenentwicklungen beider Studien zeigt erstaunliche Übereinstimmungen. Diese werden durch ein Vergleich der folgenden Abbildungen verdeutlicht (vgl. Abbildung 77 und Abbildung 78):

¹⁹² Die Tests wurden vor der Trainingsphase und nach der 2., 4., 6., 8. und schließlich nach der 12 Trainingswoche durchgeführt. Die Autoren geben in ihrer Arbeit keine Begründung für das Fehlen des Testes nach der 10. Trainingswoche an.

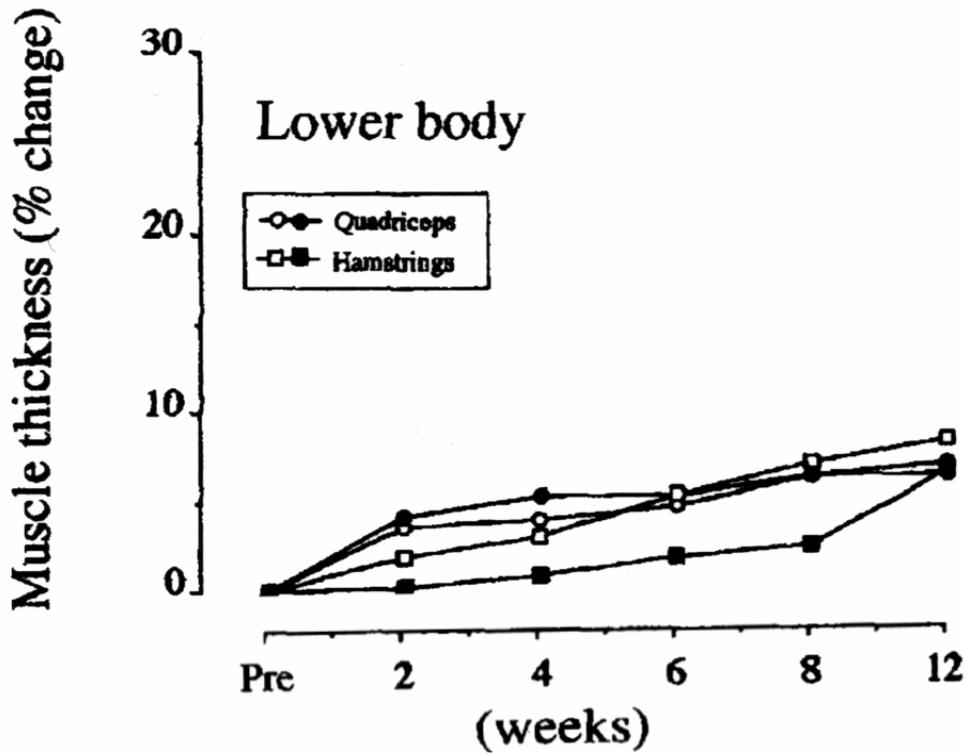


Abbildung 77: Relative prozentuale Veränderung der gemittelten Muskeldicke aller Messpunkte der Beinmuskulatur über die 12-wöchige Trainingsdauer. Die gefüllten Symbole repräsentieren die männlichen Probanden, die nicht-gefüllten Symbole die weiblichen Probanden (nach Abe et al., 2000, S. 178)

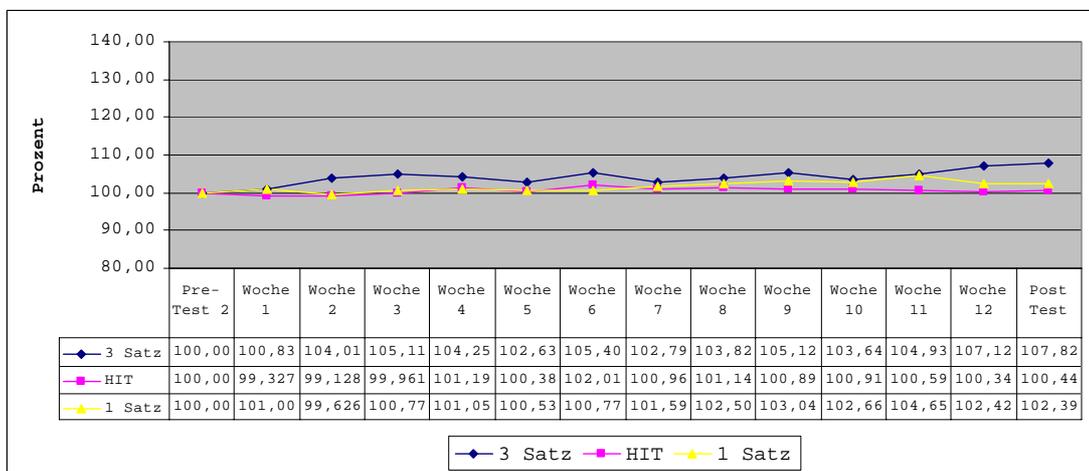


Abbildung 78: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{kom}

Bei der Betrachtung der Abbildung 77 und Abbildung 78 fällt besonders für die Dreisatz-Trainingsgruppe eine starke Übereinstimmung der Muskeldickenveränderungen mit der Studie von Abe et al. (2000) auf. Abe et al. (2000, S. 178) geben in ihrer Arbeit nicht signifikante Muskeldickenzuwächse der drei Messpunkte des M. quadrizeps femoris zwischen 7%-8% für Frauen und zwischen 7%-9% für Männer an. Für die Messpunkte D_{30} , D_{50} und D_{70} in

unserer Studie ergeben sich für die Dreisatz-Trainingsgruppe Zunahmen der Muskeldicke von 6,4%, 6,6% bzw. 9,2%¹⁹³ und liegen somit in einem vergleichbaren Bereich wie die Ergebnisse von Abe et al. (2000).

Besonders interessant ist auch ein Vergleich beider Studien bezüglich der Veränderung der Muskeldicke über die Zeit. Der Vergleich der Muskeldickenentwicklung von D_{kom} der Dreisatz-Trainingsgruppe mit dem Verlauf der Muskeldickenentwicklung in der Studie von Abe et al. (2000) zeigt eine starke Übereinstimmung. In beiden Studien kommt es schon nach einer kurzen Zeitperiode von nur zwei Wochen zu einem Anstieg der Muskeldicke um ca. 4%. Nach diesem starken initialen Anstieg verläuft der weitere Zuwachs der Muskeldicke bis zum jeweiligen Ende der Untersuchung in beiden Studien wesentlich langsamer.

In der Untersuchung von Starkey et al. (1996)¹⁹⁴ erreichten die Probanden nicht signifikante Zuwächse der Muskeldicke des M. quadrizeps femoris von 1-1,5 mm. Die Zuwächse fallen somit wesentlich geringer aus als die Hypertrophieeffekte in unserer Studie. Die Autoren stellten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Hypertrophiereaktionen der Einsatz- und der Mehrsatz-Trainingsgruppe fest. Allerdings überrascht der Vergleich der absoluten Muskeldickenwerte der Trainingsgruppen in der Studie von Starkey et al. (1996)¹⁹⁵. Der absolute Muskelzuwachs weist im Gegensatz zum relativen Muskelwachstum durchaus geschlechtsspezifische Unterschiede auf (vgl. Cureton et al., 1988). Somit kann das unterschiedliche geschlechtsspezifische Verhältnis der Trainingsgruppen zu einer vergleichsweise geringeren Hypertrophie der Dreisatz-Trainingsgruppe gegenüber der Einsatz-Trainingsgruppe geführt haben¹⁹⁶.

In der Studie von Young und Bilby (1993)¹⁹⁷ wurden die Veränderungen der Muskeldicke des M. rectus femoris und M. vastus intermedius separat gemessen. Die Autoren fanden eine höchst signifikante Zunahme

¹⁹³ Nach der 12 Trainingswoche.

¹⁹⁴ Vgl. auch S. 55.

¹⁹⁵ Es handelte sich nicht um geschlechtsspezifisch parallelisierte Trainingsgruppen. Die Dreisatz-Trainingsgruppe setzte sich aus 9 Frauen und 8 Männern zusammen, die Einsatz-Trainingsgruppe aus 7 Frauen und 7 Männern.

¹⁹⁶ Es ist jedoch fraglich, ob der relativ geringe Unterschied in der geschlechtsspezifischen Zusammensetzung der Trainingsgruppen einen relevanten Einfluss auf den Vergleich der Muskeldickenveränderungen hatte.

¹⁹⁷ Vgl. auch S. 27.

($p=0,000$) der Muskeldicke des M. vastus intermedius von bis zu 24,4%, aber nur eine sehr geringe Zunahme der Muskeldicke des M. rectus femoris von maximal 1,5%. Diese Gewichtung der Muskelhypertrophie konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden (vgl. Tabelle 28). Allerdings wurde in der Studie von Young und Bilby (1993) die Trainingsübung Kniebeuge und nicht die Übung Beinstrecken verwendet. Die unterschiedliche Aktivierung der Oberschenkelmuskulatur könnte zu unterschiedlichen Hypertrophiereaktionen in den beiden Studien geführt haben. Die kombinierten absoluten Veränderungen der Muskeldicke¹⁹⁸ von 4,41 Millimetern für die mit einer schnellen Bewegungsgeschwindigkeit trainierenden Trainingsgruppe gegenüber 3,44 Millimetern für die mit einer langsamen Bewegungsgeschwindigkeit trainierenden Trainingsgruppe sind durchaus mit den absoluten Muskeldickenveränderungen der Dreisatz-Trainingsgruppe in unserer Studie vergleichbar¹⁹⁹. So betrug die Differenz der Muskeldicken des Pre-Testes 2 und des Post-Testes der Dreisatz-Trainingsgruppe 3,71 Millimeter (vgl. Anhang C3)²⁰⁰.

Pollock et al. (1998)²⁰¹ zeigen nach einem 13-wöchigen Training eine signifikante ($p<0,05$) Zunahme der Muskeldicke²⁰² der Einsatz-Trainingsgruppe von 3 Millimetern und der Dreisatz-Trainingsgruppe von 2 Millimetern. Zwischen den Zuwächsen der Trainingsgruppen besteht kein signifikanter Unterschied. Diese Ergebnisse decken sich nicht mit den Ergebnissen unserer Studie. Der von Pollock et al. (1998) gezeigte tendenziell größere Hypertrophieeffekt der Einsatz-Trainingsmethode gegenüber einem Mehrsatz-Training konnte in unserer Arbeit nicht bestätigt werden.

In der Krafttrainingsstudie von Weiss et al. (2000) kommt es wie in der Studie von Young und Bilby (1993) bereits nach einer relativ kurzen Trainingsphase zu einer signifikanten ($p<0,05$) Zunahme der gemittelten Muskeldicke der Oberschenkelstreckmuskulatur der Probanden von 4,3-6,1 Millime-

¹⁹⁸ Kombinierte Muskeldicken des M. vastus intermedius und M. rectus femoris.

¹⁹⁹ Die an Hand der kombinierten Muskeldickenwerte des M. rectus femoris und M. vastus medialis berechneten prozentualen Zuwächse betragen für die Trainingsgruppe mit der hohen Bewegungsgeschwindigkeit 9,51% und für die Trainingsgruppe mit der langsamen Bewegungsgeschwindigkeit 7,86%.

²⁰⁰ Hierbei ist der geschlechtsspezifische Unterschied bei einem Vergleich von absoluten Hypertrophieeffekte zu berücksichtigen. Young und Bilby (1993) verwendeten für ihre Studie ausschließlich männliche Probanden.

²⁰¹ Vgl. auch S. 55.

²⁰² Der Messpunkt befand sich bei 50% der Distanz vom Trochanter major zur lateralen Femurkondyle.

tern. Diese Zuwächse sind größer als die in unserer Studie gefundenen Zuwächse. Allerdings nahmen an der Untersuchung von Weiss et al. (2000) nur männliche Probanden teil. Zudem wurde wie in der Studie von Young und Bilby (1993) die Übung Kniebeuge eingesetzt und nicht wie in unserer Arbeit oder auch in den Untersuchungen von Abe et al. (2000), Starkey et al. (1996) und Pollock et al. (1998) die Übung Beinstrecken. Möglicherweise provoziert die Übung Kniebeuge eine größere Hypertrophiereaktion des M. quadrizeps femoris als die Übung Beinstrecken.

8.4 Körpergewicht und Körperfettanteil

Die Ergebnisse zeigen für den Parameter Körpergewicht nur relativ geringe Veränderungen (vgl. Anhang C4). Die teilweise massiven Schwankungen der prozentualen Körperfettwerte belegt die Problematik der Körperfettmessung mittels der bioelektrischen Impedanzanalyse (vgl. Abbildung 59).

Wirth (2004, S. 8) bezweifelt in seiner Arbeit generell die Eignung von Körpergewichtsmessungen sowie Messungen des prozentualen Körperfettanteils als Indikatoren für eine Muskelhypertrophie, da unter anderem der Wasserhaushalt starken Einfluss auf die Messungen nehmen würde. Wahrscheinlich bezieht sich Wirth (2004) hierbei hauptsächlich auf die Auswirkungen des Wasserhaushaltes auf den elektrischen Widerstand bei der BIA-Messmethode (vgl. S. 108). Auf Grund der fehlenden Standardisierung der Nahrungsaufnahme sowie der dargestellten Kritik kommt auch in dieser Studie den Körpergewichtsveränderungen sowie den Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils nur sekundäre Bedeutung zu.

Dennoch stützen die größeren prozentualen Gewichtszuwächse der Dreisatz²⁰³- und der Einsatz-Trainingsgruppe gegenüber der HIT-Trainingsgruppe die Ergebnisse der Ultraschallmessungen (vgl. Kapitel 6.4.2).

²⁰³ Dies wird für die Dreisatz-Trainingsgruppe auch durch den signifikant positiven Trend des Cox and Stuart Testes belegt (vgl. Tabelle 29).

8.5 Zusammenhang zwischen isometrischer Maximalkraft und Muskeldicke D_{kom}

Der in unserer Studie gefundene signifikante Zusammenhang von $\tau=0,429$ ($p=0,033$) zwischen der Entwicklung der Parameter isometrische Maximalkraft und Muskeldicke D_{kom} bestätigt zwar einen mittleren Zusammenhang zwischen der Entwicklung der beiden Parameter, andererseits weist der relativ niedrige Wert von $\tau=0,429$ ($p=0,033$) auf die Bedeutung anderer für die Veränderung der isometrischen Maximalkraft bedeutender Faktoren hin. Die in unserer Studie ermittelte Diskrepanz zwischen den größeren isometrischen Maximalkraftgewinnen gegenüber den gemessenen moderaten Muskeldickenveränderungen ist in der Literatur mehrfach belegt (Jones & Rutherford, 1987; Kraemer et al., 2004; Moritani & deVries, 1979; Narici et al., 1996; Wirth, 2004; Young, Stokes, Round, & Edwards, 1983).

Verschiedene Mechanismen führen zu einer Steigerung der isometrischen Maximalkraft ohne durch Messung von Muskeldicke, Muskelquerschnitt oder Muskelvolumen erfassbar zu sein. Trainingsinduzierte Verbesserungen der intermuskulären bzw. intramuskulären Koordination können zu einer Zunahme der isometrischen Maximalkraft führen (vgl. S. 87). Die Veränderung des Fiederungswinkels eines Muskels ist ein weiterer Mechanismus, der eine Steigerung der isometrischen Maximalkraft bewirken kann (vgl. S. 84). Es ist belegt, dass es durch ein Krafttraining zu einer Veränderung des Faserspektrums kommt (vgl. S. 82, sowie Fleck und Kraemer, 2004, S. 88-89). Allerdings ist bislang ungeklärt, ob diese Veränderung ebenfalls zu der Erhöhung der Maximalkraft beiträgt: "It is not known to what extent muscle fiber remodeling contributes to muscle strength; however, gradual increases in the number and size of myofibrils and perhaps the fast fiber type conversions of type IIB to IIA might contribute to force production" (Fleck & Kraemer, 2004, S. 89).

8.6 Zusammenfassende Bewertung der Trainingsmethoden

Unsere Ergebnisse zeigen für die untersuchte Population für die drei untersuchten Hauptparameter isometrische Maximalkraft, Muskeldicke und Kraftausdauer des M. quadrizeps femoris eine eindeutige Rangfolge:

1. Dreisatz-Methode
2. Einsatz-Methode
3. HIT-Trainingsmethode

Allerdings sind bei dieser Rangfolge der Trainingsmethoden unbedingt die in der Studie eingesetzten Belastungsnormative zu berücksichtigen. Die Trainingshäufigkeit von drei Trainingseinheiten pro Woche plus die Belastung durch die wöchentlichen Kraffttests bedeutete für die Probanden der HIT-Trainingsgruppe möglicherweise zu geringe Regenerationszeiten. Somit könnten die gemessenen geringen positiven Veränderungen der untersuchten Parameter auf die für diese Trainingsmethode ungeeignete Wahl des Belastungsnormativs Trainingshäufigkeit zurückzuführen sein (vgl. Heiduk et al., 2002). Eine Überprüfung dieser Hypothese hätte durch die Untersuchung entsprechender Überlastungsparameter stattfinden können, was aber nicht Gegenstand dieser Studie war²⁰⁴.

Der Zugewinn an Muskelmasse stellt, besonders bei einem längerfristigen Krafttraining, den entscheidenden Faktor zur Vergrößerung der Maximalkraft dar. Tesch (Tesch, 1998) betont in seinem Artikel die Bedeutung des Muskelquerschnitts für die mögliche Kraftentwicklung eines Muskels: "The CSA of a muscle is the single most important factor expressing how much force that muscle can produce..." (S. 17).

Grundsätzlich stellt sich die Frage, was der bzw. die auslösenden Reize für eine Muskelhypertrophie sind (vgl. S. 64). Die momentanen Empfehlungen für ein Hypertrophietraining basieren auf der Annahme, dass Spannungshöhe und Spannungsdauer die entscheidenden Faktoren für ein Muskelwachstum sind: "Voraussetzung zur Erzielung einer Muskelhypertrophie ist eine überschwellige Muskelanspannung über eine genügend lange Dauer" (Hollmann et al., 2000, S. 190). Die genannten Untersuchungen zeigen jedoch, dass die metabolische Situation in der Muskulatur ebenfalls von erheblicher Bedeutung für Muskelhypertrophie, Maximalkraft und auch Kraftausdauer ist (vgl. S. 64).

²⁰⁴ Zudem ist die Diagnose von Übertrainingszuständen auf Grund physiologischer Parameter wie beispielsweise die Konzentration von Harnstoff, Ammoniak, Kreatinkinase, Cortisol und Testosteron nicht unproblematisch (vgl. Urhausen & Kindermann, 2000).

Selbst wenn das Trainingsziel nicht in einem Muskelzuwachs besteht, ist die Kenntnis der hypertrophieauslösenden Reize von Bedeutung, um beispielsweise größtmögliche Kraftverbesserungen ohne gravierende Muskelzuwächse zu erreichen. Sportarten wie Ringen oder Boxen sind auf Krafttrainingsinterventionen angewiesen, die zu maximalen Verbesserungen der Maximalkraft führen, ohne gleichzeitig eine starke Muskelhypertrophie zu verursachen. Ein Einsatz-Training verändert die metabolische Situation im Muskel nicht so stark wie ein Mehrsatz-Training. Dies konnte zum Beispiel für den Parameter Laktat von Craig et al. (1994) und Gotshalk et al. (1997) belegt werden. Die Überlegenheit des Mehrsatz-Trainings gegenüber dem Einsatz- und auch dem HIT-Training könnte somit auf die größeren metabolischen Effekte der Mehrsatz-Trainingsmethode zurückzuführen sein.

8.7 Konsequenzen für die Trainingspraxis

Die gezeigten unterschiedlichen Zuwächse der Einsatz- bzw. Mehrsatz-Trainingsgruppen sind für den Fitness- und Gesundheitssport über den hier untersuchten Zeitraum von 3 ca. Monaten nicht von Bedeutung. Allerdings bleibt fraglich, ob ein Einsatz-Training bei einem mehrjährigen Fitnessprogramm nicht früher zu einer Plateaubildung der Kraft führt als ein Mehrsatz-Training. Ein Mehrsatz-Training bietet gegenüber einem Einsatz-Training wesentlich mehr Variationsmöglichkeiten. Da der Variation, besonders im langfristigen Trainingsprozess, eine entscheidende Bedeutung zukommt, erscheint eine Fixierung auf die Einsatz-Trainingsmethode unzweckmäßig (Fry & Newton, 2002, S. 17).

Allerdings erscheint eine grundsätzliche Ablehnung der Einsatz-Trainingsmethode genauso falsch, da sie, unter zeitökonomischen Gesichtspunkten, der Mehrsatz-Trainingsmethode überlegen ist. Im Fitness- und Gesundheitssport wird zumeist keine isolierte Verbesserung der Krafftfähigkeiten angestrebt. Hier bietet das Einsatz-Training etwa bei der Kombination eines Ausdauer- und Krafttrainings deutliche Vorteile. Ein HIT-Training kann an Hand der in dieser Untersuchung gewonnenen Ergebnisse generell nicht empfohlen werden. Allerdings ist hierbei die bereits erwähnte ungünstige Gestaltung der Trainingsfrequenz zu berücksichtigen (vgl. S. 218). Aus den

gezeigten Fakten sowie der gesichteten Literatur lassen sich folgende Empfehlungen für ein optimales Krafttraining ableiten:

Breiten- bzw. Gesundheitssport

Für untrainierte Personen empfiehlt sich für die initiale Phase ihres Krafttrainings (ca. 3 Monate) die Einsatz-Trainingsmethode. Durch den geringen Belastungsumfang ist eine problemlose Kombination eines Krafttrainings beispielsweise mit einem Ausdauertraining möglich. Nach dieser Phase sollte, je nach den Zielvorstellungen des Fitnesssportlers, die geeignete Trainingsmethode gewählt werden. Liegt das Ziel vornehmlich in einer Maximierung des Muskelzuwachses und der Maximalkraft, sollte vornehmlich die Mehrsatz-Trainingsmethode eingesetzt werden. Die Bedeutung der Pausenlänge ist auf Grund der aktuellen Erkenntnisse bezüglich der Bedeutung der metabolischen Situation im Muskel (vgl. S. 64) neu einzuschätzen und bei der Gestaltung der Trainingsplanung zu berücksichtigen.

Leistungssport

Die Mehrsatz-Trainingsmethode sollte auf Grund ihrer größeren Effekte im Krafttraining der Leistungssportler dominieren. Die Einsatz-Trainingsmethode kann in Trainingsphasen eingesetzt werden, in denen eine Erhaltung der Maximalkraft angestrebt wird, oder wenn das Training der anderen konditionellen Fähigkeiten die Durchführung eines Mehrsatz-Trainings nicht gestattet. Zumindest während intensiver Wettkampfphasen ist neben dem Ökonomieaspekt auch die Frage der Gefahr von Fehl- und Überlastungen durch Krafttraining sowie von Verletzungen zu berücksichtigen. Weiterhin sind die durch höhere Trainingsumfänge bedingten (negativen) Einflüsse auf techno-motorische Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit zu bedenken.

9 Literatur

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(2), 61-67.
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Dyhre-Poulsen, P., Leffers, A. M., Wagner, A., Magnusson, S. P., et al. (2001). A mechanism for increased contractile strength of human pennate muscle in response to strength training: changes in muscle architecture. *Journal of Physiology*, 534(Pt. 2), 613-623.
- Abe, T., DeHoyos, D. V., Pollock, M. L., & Garzarella, L. (2000). Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 81(3), 174-180.
- ACSM. (1998). American College of Sports Medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 975-991.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003a). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 555-563.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003b). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 24(6), 410-418.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2004). *Molekularbiologie der Zelle* (4. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH.
- Alway, S. E., Grumbt, W. H., Stray-Gundersen, J., & Gonyea, W. J. (1992). Effects of resistance training on elbow flexors of highly competitive bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*, 72(4), 1512-1521.
- Alway, S. E., Winchester, P. K., Davis, M. E., & Gonyea, W. J. (1989). Regionalized adaptations and muscle fiber proliferation in stretch-induced enlargement. *Journal of Applied Physiology*, 66(2), 771-781.
- Andersen, J. L., Schjerling, P., & Saltin, B. (2000). Muscles, genes and athletic performance. *Scientific American*, 283(3), 48-56.
- Antonio, J. (2000). Nonuniform response of skeletal muscle to heavy resistance training: can bodybuilders induce regional muscle hypertrophy? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 102-113.

- Arndt, S., Turvey, C., & Andreasen, N. C. (1999). Correlating and predicting psychiatric symptom ratings: Spearman's r versus Kendall's tau correlation. *Journal of Psychiatric Research*, 33(2), 97-104.
- Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 9, 1-73.
- Baechle, T. R., Earle, R. W., & Wathen, D. (2000). Resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 395-425). Champaign: Human Kinetics.
- Baker, D. (1996). Improving vertical jump performance through general, special, and specific strength training: a brief review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(2), 131-136.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, R. (1994). Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 235-242.
- Balabinis, C. P., Psarakis, C. H., Moukas, M., Vassiliou, M. P., & Behrakis, P. K. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(2), 393-401.
- Baumann, W. (1992). In E. Beyer (Hrsg.), *Wörterbuch der Sportwissenschaft* (S. 179). Schorndorf: Hofmann.
- Bemben, M. G. (2002). Use of diagnostic ultrasound for assessing muscle size. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 103-108.
- Berger, R. (1962). Effect of varied weight training programs on strength. *The Research Quarterly*, 33(2), 169-181.
- Berger, R. (1982). *Applied exercise physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Bhasin, S., Woodhouse, L., Casaburi, R., Singh, A. B., Bhasin, D., Berman, N., et al. (2001). Testosterone dose-response relationships in healthy young men. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 281(6), E1172-1181.
- Biaggi, R. R., Vollman, M. W., Nies, M. A., Brener, C. E., Flakoll, P. J., Levenhagen, D. K., et al. (1999). Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69(5), 898-903.
- Biolo, G., Chinkes, D., Zhang, X.-J., & Wolfe, R. R. (1992). A new model to determine in vivo the relationship between amino acid transmembrane transport and protein kinetics in muscle. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 16, 305-315.

- Biolo, G., Maggi, S. P., Williams, B. D., Tipton, K. D., & Wolfe, R. R. (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 268(3 Pt 1), E514-520.
- Boeckh-Behrens, W.-U., & Buskies, W. (2001). *Fitness-Krafttraining* (2. Auflage). Reinbeck: Rowohlt.
- Bohe, J., Low, A., Wolfe, R. R., & Rennie, M. J. (2003). Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability: a dose-response study. *Journal of Physiology*, 552(Pt 1), 315-324.
- Borg, G. (1973). Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Medicine and Science in Sports*, 5(2), 90-93.
- Bortz, J., & Döring, N. (1995). *Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler* (2. überarbeitete Auflage). Berlin: Springer.
- Bortz, J., & Lienert, G. A. (2003). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung* (2. aktualisierte und bearbeitete Auflage). Berlin: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G. A., & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Berlin: Springer.
- Bös, K., Hänsel, F., & Schott, N. (2000). *Empirische Untersuchungen in der Sportwissenschaft: Planung - Auswertung - Statistik*. Hamburg: Czwalina.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. L., Carpenter, D. M., & Colvin, A. B. (1989). Comparison of 2 vs 3 days/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *International Journal of Sports Medicine*, 10(6), 450-454.
- Broeder, C. E., Burrhus, K. A., Svanevik, L. S., Volpe, J., & Wilmore, J. H. (1997). Assessing body composition before and after resistance or endurance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5), 705-712.
- Brozek, J., Grande, J., Anderson, T., & Keys, A. (1963). Densiometric analysis of body composition: a review of some quantitative assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 110, 113-140.
- Burgomaster, K. A., Moore, D. R., Schofield, L. M., Phillips, S. M., Sale, D. G., & Gibala, M. J. (2003). Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1203-1208.
- Buskies, W. (1999). *Sanftes Krafttraining - unter besonderer Berücksichtigung des subjektiven Belastungsempfindens*. Köln: Sport und Buch Strauß.

- Buskies, W., & Boeckh-Behrens, W. U. (1999). Probleme bei der Steuerung der Trainingsintensität im Krafttraining auf der Basis von Maximalkrafttests. *Leistungssport*, 29(3), 4-8.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., et al. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *European Journal of Applied Physiology*, 88(1-2), 50-60.
- Carpinelli, R. N., & Otto, R. M. (1998). Strength training - single versus multiple sets. *Sports Medicine*, 26(2), 73-84.
- Carter, J. R., Ray, C. A., Downs, E. M., & Cooke, W. H. (2003). Strength training reduces arterial blood pressure but not sympathetic neural activity in young normotensive subjects. *Journal of Applied Physiology*, 94(6), 2212-2216.
- Cox, D. R., & Stuart, A. (1955). Some quick and simple sign tests for trend in location and dispersion. *Biometrika*, 42, 80-95.
- Craig, B. W., & Kang, H.-Y. (1994). Growth hormone release following single versus multiple sets of back squats: total work versus power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 270-275.
- Cureton, K. J., Collins, M. A., Hill, D. W., & McElhannon, F. M., Jr. (1988). Muscle hypertrophy in men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(4), 338-344.
- Darden, E. (1986). *The nautilus bodybuilding book*. Chicago: Contemporary Books Inc.
- De Carvalho, A., Jorgensen, J., Schibye, B., Klausen, K., & Andersen, A. H. (1985). Controlled ultrasonographic measurements of cross-sectional areas of the quadriceps muscle submitted to dynamic strength training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 25(4), 251-254.
- de Marées, H. (2002). *Sportphysiologie* (9. überarbeitete und erweiterte Auflage). Köln: Sport und Buch Strauss.
- DeKoning, F. L., Binkhorst, R. A., Kauer, J. M. G., & Thissen, H. O. M. (1986). Accuracy of an anthropometric estimate of the muscle and bone area in a transversal cross-section of the arm. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 246-249.
- DeLorme, T. L. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 27(4), 645-667.
- DeLorme, T. L., & Watkins, A. L. (1948). Techniques of progressive resistance exercise. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 29, 645-667.

- Denner, A. (1998). *Analyse und Training der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur*. Berlin: Springer.
- Dupont, A. C., Sauerbrei, E. E., Fenton, P. V., Shragge, P. C., Loeb, G. E., & Richmond, F. J. (2001). Real-time sonography to estimate muscle thickness: comparison with MRI and CT. *Journal of Clinical Ultrasound*, 29(4), 230-236.
- Ebben, W. P., & Blackard, D. O. (2001). Strength and conditioning practices of national football league strength and conditioning coaches. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(1), 48-58.
- Ehlenz, H., Grosser, M., Zimmermann, E., & Tusker, F. (1998). *Krafttraining Grundlagen, Methoden, Uebungen, Leistungssteuerung, Trainingsprogramme* (6. erweiterte Auflage). München: BLV Verlagsgesellschaft.
- Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development. *Sports Medicine*, 6, 146-168.
- Esmarck, B., Andersen, J. L., Olsen, S., Richter, E. A., Mizuno, M., & Kjaer, M. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *Journal of Physiology*, 535(Pt 1), 301-311.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., et al. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(4), 470-476.
- Feigenbaum, M. S., & Pollock, M. J. (1997). Strength training. *The Physician and Sportsmedicine*, 25(2 (Feb)), 44-64.
- Ferrando, A. A., Lane, H. W., Stuart, C. A., Davis-Street, J., & Wolfe, R. R. (1996). Prolonged bed rest decreases skeletal muscle and whole body protein synthesis. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 270(4), E627-633.
- Fink, M. A., & Costill, D. L. (1995). Skeletal muscle structure and function. In P. J. Maud & C. Foster (Eds.), *Physiological assessment of human fitness* (pp. 139-165). Champaign: Human Kinetics.
- Fleck, S. J., & Dean, L. S. (1987). Resistance-training experience and the pressor response during resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 63(1), 116-120.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1997). *Designing resistance training programs* (2nd ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (2004). *Designing resistance training programs* (3rd ed.). Champaign: Human Kinetics.

- Flock, T. (1993). *Möglichkeiten und Grenzen der Zeitreihenanalyse im Hochleistungssport - Versuch einer individuellen Leistungssteuerung im Krafttraining* (Vol. 4). Köln: Sport und Buch Strauss.
- Florini, J., Ewton, D., & Coolican, S. (1996). Growth hormone and the insulin-like growth factor system in myogenesis. *Endocrine Reviews*, 17(5), 481-517.
- Fowles, J. R., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., Sale, D. G., Roy, B. D., & Yarasheski, K. E. (2000). The effects of acute passive stretch on muscle protein synthesis in humans. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 25(3), 165-180.
- Freiwald, J., & Stahl, S. (1991). Posttraumatisch erhobene Umfangsdifferenzen der Ober- und Unterschenkelmuskulatur. Der Einfluss einer Schädigung des Kniegelenkes auf den Umfang der betroffenen Extremität und deren Veränderungen im zeitlichen Verlauf. *Gesundheitssport und Sporttherapie*, 5, 4-7.
- Fröhlich, M. (2003). *Eine empirische Studie zur Methodik des Kraftausdauertrainings*. Unveröffentlichte Dissertation. Frankfurt: Johann Wolfgang Goethe-Universität zu Frankfurt am Main.
- Fröhner, G., & Börnert, K. (1994). Zustandbeurteilung des vierköpfigen Oberschenkelmuskels mit der Methode der Ultraschalldiagnostik. *Leistungssport*, 2, 36-38.
- Fry, A. C., & Newton, R. U. (2002). A brief history of strength training and basic principles and concepts. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Eds.), *Strength training for sport* (pp. 1-19). Oxford: Blackwell Science.
- Gettman, L. R., Ayres, J. J., Pollock, M. L., & Jackson, A. (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Medicine and Science in Sports*, 10(3), 171-176.
- Gießing, J. (2000). Das Heavy-Duty-Konzept. *Leistungssport*, 4, 19-23.
- Godfrey, R. J., Madgwick, Z., & Whyte, G. P. (2003). The exercise-induced growth hormone response in athletes. *Sports Medicine*, 33(8), 599-613.
- Goebel, S. (2002). *Entwicklung, Überprüfung und Normierung eines Kraftmessverfahrens: Ein Beitrag zur Diagnose des Status und der Entwicklung der isometrischen Maximalkraft bei 50- bis 75-jährigen Frauen und Männern*. Unveröffentlichte Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Goldberg, L., Elliot, D. L., & Kuehl, K. S. (1994). A comparison of the cardiovascular effects of running and weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 219-224.

- Goldspink, G. (1994). Zelluläre und molekulare Aspekte der Trainingsadaptation des Skelettmuskels (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 213-231). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Goldspink, G. (2003). Gene expression in muscle in response to exercise. *Journal of Muscle Research and Cell Motility*, 24(2-3), 121-126.
- Goldspink, G., & Harridge, S. (2003). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sports. An IOC medical commission publication in collaboration with the international federation of sports medicine. (The Encyclopedia of Sports Medicine III)* (2nd ed., pp. 231-251). Oxford: Blackwell Science.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., & Takamatsu, K. (2005). The impact of metabolic stress on hormonal responses and muscular adaptations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(6), 955-963.
- Goto, K., Sato, K., & Takamatsu, K. (2003). A single set of low intensity resistance exercise immediately following high intensity resistance exercise stimulates growth hormone secretion in men. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(2), 243-249.
- Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., et al. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 22(3), 244-255.
- Gotshall, R. W., Gootmann, J., Byrnes, W. C., Fleck, S. J., & Valovich, T. C. (1999). Noninvasive characterization of the blood pressure response to the double-leg press exercise. *Journal of Exercise Physiology online*, 2(4), Verfügbar unter: <http://www.css.edu/users/tboone2/asep/Gotshall.html>.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M., & Bishop, L. E. (1988). Effect of reduced training frequency on muscular strength. *International Journal of Sports Medicine*, 9(5), 316-319.
- Grecanikov, V. N. (2001). Optimizacija bazy prognoza rezultatov olimpijskich cempionov po plavaniju [Optimierung der Leistungsprognosen von OS-Siegern im Schwimmen]. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, 7, 28-29.
- Güllich, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Struktur der Krafftfähigkeiten und ihrer Trainingsmethoden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(7+8), 223-234.

- Häkkinen, K. (2002). Training-specific characteristics of neuromuscular performance. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Eds.), *Strength training for sport* (pp. 20-36). Oxford: Blackwell Science.
- Häkkinen, K., Alen, M., & Komi, P. V. (1985). Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 125(4), 573-585.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1988). Neuromuscular and hormonal adaptations in athletes to strength training in two years. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2406-2412.
- Harmann, E., Garhammer, J. G., & Pandorf, C. (2000). Administration, scoring and interpretation of selected tests. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (2nd ed., pp. 287-317). Champaign: Human Kinetics.
- Harris, G. R., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Proulx, C. M., & Johnson, R. L. (2000). Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 14-20.
- Hasegawa, H., Dziados, J., Newton, R. U., Fry, A. C., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2002). Periodized training programmes for athletes. In W. J. Kraemer & K. Häkkinen (Eds.), *Strength training for sport* (pp. 69-134). Oxford: Blackwell Science.
- Hass, C. J., de Hoyos, D., Garzarella, L., & Pollock, M. L. (1998). Effects of training volume on strength and endurance in experienced resistance trained adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), S115.
- Hass, C. J., Garzarella, L., de Hoyos, D., & Pollock, M. L. (2000). Single versus multiple sets in long-term recreational weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 235-242.
- Hawke, T. J., & Garry, D. J. (2001). Myogenic satellite cells: physiology to molecular biology. *Journal of Applied Physiology*, 91(2), 534-551.
- Heiduk, R., Preuss, P., & Steinhöfer, D. (2002). Die optimale Satzzahl im Krafttraining: Einsatz- versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 4, 4-13.
- Henneman, E., Somjen, G., & Carpenter, D. O. (1965). Functional significance of cell size in spinal motoneurons. *Journal of Neurophysiology*, 28(3), 560-580.
- Herm, K.-P. (2003). Methoden der Körperfettbestimmung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54(5), 153-154.
- Hettinger, T. (1983). *Isometrisches Muskeltraining*. Stuttgart: Thieme.

- Hides, J. A., Richardson, C. A., & Jull, G. A. (1995). Magnetic resonance imaging and ultrasonography of the lumbar multifidus muscle. Comparison of two different modalities. *Spine*, *20*(1), 54-58.
- Higbie, E. J., Cureton, K. J., Warren, G. L., 3rd, & Prior, B. M. (1996). Effects of concentric and eccentric training on muscle strength, cross-sectional area, and neural activation. *Journal of Applied Physiology*, *81*(5), 2173-2181.
- Hoeger, W. W. K., Barette, S. L., Hale, D. F., & Hopkins, D. R. (1987). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *Journal of Applied Sport Science Research*, *1*(1), 11-13.
- Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S., & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, *4*(2), 47-54.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2002). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim: Limpert.
- Hollmann, W., Hettinger, T., & Strüder, H. K. (2000). *Sportmedizin Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin*. Stuttgart: Schattauer.
- Houston, M. E. (1999). Gaining weight: the scientific basis of increasing skeletal muscle mass. *Canadian Journal of Applied Physiology*, *24*(4), 305-316.
- Hurley, B. F., Redmond, R. A., Pratley, R. E., Treuth, M. S., Rogers, M. A., & Goldberg, A. P. (1995). Effects of strength training on muscle hypertrophy and muscle cell disruption in older men. *International Journal of Sports Medicine*, *16*(6), 378-384.
- Ikai, M., & Fukunaga, T. (1968). Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie*, *26*, 26-32.
- Imholz, B. P., Wieling, W., van Montfrans, G. A., & Wesseling, K. H. (1998). Fifteen years experience with finger arterial pressure monitoring: assessment of the technology. *Cardiovascular Research*, *38*(3), 605-616.
- Ishida, Y., Carroll, J. F., Pollock, M. L., Graves, J. E., & Leggett, S. H. (1992). Reliability of b-mode ultrasound for the measurement of body fat and muscle thickness. *American Journal of Human Biology*, *4*, 511-520.

- Jacks, D. E., Sowash, J., Anning, J., McGloughlin, T., & Andres, F. (2002). Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *16*(2), 286-289.
- Jelliffe, E. P., & Jelliffe, D. B. (1969). The arm circumference as a public health index of protein-caloric malnutrition of early childhood. *Journal of Tropical Pediatrics*, *15*, 225-230.
- Johnston, B. D. (2000). High intensity versus high volume. In M. Brzycki (Ed.), *Maximize your training : insights from leading strength and fitness professionals* (pp. 125-143). Lincolnwood: Masters Press.
- Jones, D. A., & Rutherford, O. M. (1987). Human muscle strength training: the effects of three different regimens and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology*, *391*, 1-11.
- Kadi, F., Eriksson, A., Holmner, S., Butler-Browne, G. S., & Thornell, L. E. (1999). Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochemistry and Cell Biology*, *111*(3), 189-195.
- Kadi, F., Schjerling, P., Andersen, L. L., Charifi, N., Madsen, J. L., Christensen, L. R., et al. (2004). The effects of heavy resistance training and detraining on satellite cells in human skeletal muscles. *Journal of Physiology*, *558*(3), 1005-1012.
- Kanehisa, H., Nagareda, H., Kawakami, Y., Akima, H., Masani, K., Kouzaki, M., et al. (2002). Effects of equivolume isometric training programs comprising medium or high resistance on muscle size and strength. *European Journal of Applied Physiology*, *87*(2), 112-119.
- Kawakami, Y., Abe, T., & Fukunaga, T. (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of Applied Physiology*, *74*(6), 2740-2744.
- Kelley, G. A., & Kelley, K. S. (2000). Progressive resistance exercise and resting blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension*, *35*(3), 838-843.
- Kemmler, W. K., Lauber, D., Engelke, K., & Weineck, J. (2004). Effects of single- vs. multiple-set resistance training on maximum strength and body composition in trained postmenopausal women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *18*(4), 689-694.
- Kleiner, D. M., Blessing, D. L., Davis, W. R., & Mitchell, J. W. (1996). Acute cardiovascular responses to various forms of resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *10*(1), 56-61.
- Knuttgen, H. W., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, *1*(1), 1-10.

- Kraemer, W. J. (1988). Endocrine responses to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5 Suppl), S152-157.
- Kraemer, W. J. (1994). Die Bedeutung endokriner Faktoren für die muskuläre Leistung (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 74-85). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Kraemer, W. J. (2000). Endocrine responses to resistance training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (2nd ed., pp. 91-114). Champaign: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., et al. (2002). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 364-380.
- Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (1995). Strength testing: development and evaluation of methodology. In P. J. Maud & C. Foster (Eds.), *Physiological assessment of human fitness* (pp. 115-133). Champaign: Human Kinetics.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Newton, R. U., Nindl, B. C., Volek, J. S., McCormick, M., et al. (1999). Effects of heavy-resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men. *Journal of Applied Physiology*, 87(3), 982-992.
- Kraemer, W. J., Hakkinen, K., Triplett-Mcbride, N. T., Fry, A. C., Koziris, L. P., Ratamess, N. A., et al. (2003). Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(1), 157-168.
- Kraemer, W. J., Nindl, B. C., Ratamess, N. A., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Fleck, S. J., et al. (2004). Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 697-708.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., et al. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal of Applied Physiology*, 78(3), 976-989.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Gomez, J. M., et al. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition*, 23(5), 1226-1243.

- Lames, M. (1996). Zeitreihenanalyse: Anwendungen in der Trainingswissenschaft. In J. Krug (Hrsg.), *Zeitreihenanalyse und "multiple statistische Verfahren" in der Trainingswissenschaft* (S. 45-58). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Leistner, K. E. (2000). High intensity training: what it is. In M. Brzycki (Ed.), *Maximize your training : insights from leading strength and fitness professionals* (pp. 115-123). Lincolnwood: Masters Press.
- Lescaudron, L., Peltekian, E., Fontaine-Perus, J., Paulin, D., Zampieri, M., Garcia, L., et al. (1999). Blood borne macrophages are essential for the triggering of muscle regeneration following muscle transplant. *Neuromuscular Disorders*, 9(2), 72-80.
- Letzelter, H., & Letzelter, M. (1986). *Krafttraining*. Reinbeck: Rowohlt.
- Lottmann, A. (2002). *Untersuchungen zur Optimierung der Belastungssteuerung im Krafttraining durch Kombination verschiedener Methoden der trainingsbegleitenden Leistungsdiagnostik*. Unveröffentlichte Dissertation. Göttingen: Universität Göttingen.
- MacDougall, J. D. (1994). Hypertrophie und/ oder Hyperplasie (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 232-239). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- MacDougall, J. D. (2003). Hypertrophy and hyperplasia. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and power in sports. An IOC medical commission publication in collaboration with the international federation of sports medicine. (The Encyclopedia of Sports Medicine III)* (2nd ed., pp. 252-264). Oxford: Blackwell Science.
- MacDougall, J. D., McKelvie, R. S., Moroz, D. E., Sale, D. G., McCartney, N., & Buick, F. (1992). Factors affecting blood pressure during heavy weight lifting and static contractions. *Journal of Applied Physiology*, 73(4), 1590-1597.
- MacDougall, J. D., Tuxen, D., Sale, D. G., Moroz, J. R., & Sutton, J. R. (1985). Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 58(3), 785-790.
- Mader, A. (1990). Aktive Belastungsadaptation und Regulation der Proteinsynthese auf zellulärer Ebene. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 41(2), 40-57.
- Marschall, F., & Fröhlich, M. (1999). Überprüfung des Zusammenhangs von Maximalkraft und maximaler Wiederholungszahl bei deduzierten submaximalen Intensitäten. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(10), 311-315.

- Martin, D., Carl, K., & Lehnertz, K. (1993). *Handbuch Trainingslehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Marx, J. O., Ratamess, N. A., Nindl, B. C., Gotshalk, L. A., Volek, J. S., Dohi, K., et al. (2001). Low-volume circuit versus high-volume periodized resistance training in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(4), 635-643.
- Matwejew, L. P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag.
- Mayo, J. J., & Kravitz, L. (1999). A review of the acute cardiovascular responses to resistance exercise of healthy young and older adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(1), 90-96.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 75-82.
- McCall, G. E., Byrnes, W. C., Dickinson, A., Pattany, P. M., & Fleck, S. J. (1996). Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 81(5), 2004-2012.
- McDonagh, M. J., & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(2), 139-155.
- McKoy, G., Ashley, W., Mander, J., Yang, S. Y., Williams, N., Russell, B., et al. (1999). Expression of insulin growth factor-1 splice variants and structural genes in rabbit skeletal muscle induced by stretch and stimulation. *Journal of Physiology*, 516(2), 583-592.
- McLester, J. R., Bishop, P., & Guilliams, M. E. (2000). Comparison of 1 day and 3 days per week of equal-volume resistance training in experienced subjects. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(3), 273-281.
- Mester, J., Mader, A., Ritzdorf, W., & Geist, J. (1990). Belastungsverträglichkeit in Abhängigkeit von Anpassungskapazität, Leistungsniveau und Trainingsinhalten bei Hochleistungssportlern in Ausdauer- und Kraftsportarten, *BISP-Projekt 19900103192*: Deutsche Sporthochschule Köln - Institut für Trainings- und Bewegungslehre.
- Milner-Brown, H. S., Stein, R. B., & Lee, R. G. (1975). Synchronization of human motor units: possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38(3), 245-254.

- Moore, D. R., Burgomaster, K. A., Schofield, L. M., Gibala, M. J., Sale, D. G., & Phillips, S. M. (2004). Neuromuscular adaptations in human muscle following low intensity resistance training with vascular occlusion. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4-5), 399-406.
- Morganti, C. M., Nelson, M. E., Fiatarone, M. A., Dallal, G. E., Economos, C. D., Crawford, B. M., et al. (1995). Strength improvements with 1 yr of progressive resistance training in older women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(6), 906-912.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *American Journal of Physical Medicine*, 58(3), 115-130.
- Moritani, T., Sherman, W. M., Shibata, M., Matsumoto, T., & Shinohara, M. (1992). Oxygen availability and motor unit activity in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 64(6), 552-556.
- Morrissey, M. C., Harman, E. A., & Johnson, M. J. (1995). Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(5), 648-660.
- Nair, K. S., Halliday, D., & Griggs, R. C. (1988). Leucine incorporation into mixed skeletal muscle protein in humans. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 254(2), E208-213.
- Narici, M. V., Hoppeler, H., Kayser, B., Landoni, L., Claassen, H., Gavardi, C., et al. (1996). Human quadriceps cross-sectional area, torque and neural activation during 6 months strength training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157(2), 175-186.
- Narici, M. V., Roi, G. S., Landoni, L., Minetti, A. E., & Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319.
- Newton, R. U., & Kraemer, W. J. (1994). Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *Strength and Conditioning*, 16 (Oct), 20-31.
- Noth, J. (1994a). Die motorischen Einheiten (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 33-40). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.

- Noth, J. (1994b). Die zentrale und periphere neuromotorische Steuerung (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 21-32). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- O'Shea, P. (1966). Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. *Research Quarterly*, 37(1), 95-102.
- Ostrowski, K. J., Wilson, G. J., Weatherby, R., Murphy, P. W., & Lyttle, A. D. (1997). The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11(1), 148-154.
- Palmieri, G. (1987). Weight training and repetition speed. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1(2), 36-38.
- Paula, K., Carvalho, A. C. G., Azedvedo, T. M. C., & Nóbrega, A. C. L. (1998). Interaction between resistance and flexibility training in healthy young adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), S:200.
- Paulsen, G., Mykkestad, D., & Raastad, T. (2003). The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 115-120.
- Perneger, T. V. (1998). What's wrong with Bonferroni adjustments. *British Medical Journal*, 316(7139), 1236-1238.
- Pette, D. (1999). Das adaptive Potential des Skelettmuskels. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 50(9), 262-271.
- Pette, D., & Staron, R. S. (2001). Transitions of muscle fiber phenotypic profiles. *Histochemistry and Cell Biology*, 115(5), 359-372.
- Philipp, M. (1999a). Ein Satz genügt! - Erfahrungen mit Einzatz- und Mehrsatz-Methoden im Krafttraining. *Leistungssport*, 29(1), 26-28.
- Philipp, M. (1999b). Einsatz-Training versus Mehrsatz-Training. *Leistungssport*, 29(4), 27-33.
- Phillips, S. M., Tipton, K. D., Aarsland, A., Wolf, S. E., & Wolfe, R. R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology*, 273(1 Pt 1), E99-107.
- Pitkanen, H., Mero, A., Oja, S. S., Komi, P. V., Rusko, H., Nummela, A., et al. (2002). Effects of training on the exercise-induced changes in serum amino acids and hormones. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 390-398.

- Poliquin, C. (1988). Five ways to increase the effectiveness of your strength training program. *National Strength & Conditioning Association Journal*, 10(3), 30-33.
- Pollock, M. L., Abe, T., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Hass, C. J., & Werber, G. (1998). Muscular hypertrophy responses to 6 months of high- or low-volume resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, S116.
- Pollock, M. L., Garzarella, L., & Graves, J. E. (1995). The measurement of body composition. In P. J. Maud & C. Foster (Eds.), *Physiological assessment of human fitness* (pp. 167-204). Champaign: Human Kinetics.
- Pschyrembel, W. (1994). *Pschyrembel: Klinisches Wörterbuch* (257. Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Radlinger, L., Bachmann, W., Homburg, J., Leuenberger, U., & Thaddey, G. (1998). *Rehabilitative Trainingslehre*. Stuttgart: Thieme.
- Reimers, C. D., Harder, T., & Saxe, H. (1998). Age-related muscle atrophy does not affect all muscles and can partly be compensated by physical activity: an ultrasound study. *Journal of the Neurological Sciences*, 159(1), 60-66.
- Reineke, A. (2004). *Gentechnik*. Stuttgart: Eugen Ulmer GmbH.
- Rennie, M. J., Wackerhage, H., Spangenburg, E. E., & Booth, F. W. (2004). Control of the size of the human muscle mass. *Annual Review of Physiology*, 66, 799-828.
- Rhea, M. R., Ball, S. D., Phillips, W. T., & Burkett, L. N. (2002). A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(2), 250-255.
- Rhea, M. R., Phillips, W. T., Burkett, L. N., Stone, W. J., Ball, S. D., Alvar, B. A., et al. (2003). A comparison of linear and daily undulating periodized programs with equated volume and intensity for local muscular endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(1), 82-87.
- Rooney, K. J., Herbert, R. D., & Balnave, R. J. (1994). Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(9), 1160-1164.
- Rutherford, O. M., Greig, C. A., Sargeant, A. J., & Jones, D. A. (1986). Strength training and power output: transference effects in the human quadriceps muscle. *Journal of Sport Sciences*, 4, 101-107.

- Rutherford, O. M., & Jones, D. A. (1986). The role of learning and coordination in strength training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 55(1), 100-105.
- Sachs, L. (2002). *Angewandte Statistik* (10. überarbeitete und aktualisierte Auflage). Berlin: Springer.
- Saito, K., Nakaji, S., Umeda, T., Shimoyama, T., Sugawara, K., & Yamamoto, Y. (2003). Development of predictive equations for body density of sumo wrestlers using B-mode ultrasound for the determination of subcutaneous fat thickness. *British Journal of Sports Medicine*, 37(2), 144-148.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(5), 135-145.
- Sale, D. G. (1994). Neurale Adaption im Verlaufe eines Krafttrainings (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 249-265). Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (1999). Einsatz-Training als trainingsmethodische Alternative - Möglichkeiten und Grenzen. *Leistungssport*, 29(3), 9-11.
- Schlumberger, A., & Schmidtbleicher, D. (2000). Grundlagen der Kraftdiagnostik in Prävention und Rehabilitation. *Manuelle Medizin*, 38, 223-231.
- Schmidtbleicher, D. (1989). Zum Problem der Definition des Begriffs Kraftausdauer. In K. Carl, S. Starischka & H.-M. Storck (Hrsg.), *Kraftausdauertraining* (S. 10-30). Köln: Sport und Buch Strauß.
- Schmidtbleicher, D. (1992). In E. Beyer (Hrsg.), *Wörterbuch der Sportwissenschaft* (S. 452). Schorndorf: Hofmann.
- Schmidtbleicher, D. (1994). Training in Schnellkraftsportarten (G. Rost & R. Rost, Trans.). In P. V. Komi (Hrsg.), *Kraft und Schnellkraft im Sport. Eine Veröffentlichung der Medizinischen Kommission des IOC in Zusammenarbeit mit der FIMS. (Enzyklopädie der Sportmedizin; Bd. 3)* (S. 374-387). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- Schmidtbleicher, D., & Gollhofer, A. (1991). Spezifische Krafttrainingsmethoden auch in der Rehabilitation. *Sportverletzung - Sportschaden*, 5(3), 135-141.
- Schmitz, J. N. (1992). In E. Beyer (Ed.), *Wörterbuch der Sportwissenschaft* (p. 404). Schorndorf: Hofmann.
- Selye, H. (1974). *Stress without distress*. New York: Lippincott.

- Semmler, J. G. (2002). Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(1), 8-14.
- Shinohara, M., Kouzaki, M., Yoshihisa, T., & Fukunaga, T. (1998). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1-2), 189-191.
- Sinha-Hikim, I., Artaza, J., Woodhouse, L., Gonzalez-Cadavid, N., Singh, A. B., Lee, M. I., et al. (2002). Testosterone-induced increase in muscle size in healthy young men is associated with muscle fiber hypertrophy. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 283(1), E154-164.
- Sinha-Hikim, I., Roth, S. M., Lee, M. I., & Bhasin, S. (2003). Testosterone-induced muscle hypertrophy is associated with an increase in satellite cell number in healthy, young men. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 285(1), E197-205.
- Starkey, D. B., Pollock, M. L., Ishida, Y., Welsch, M. A., Brechue, W. F., Graves, J. E., et al. (1996). Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(10), 1311-1320.
- Staron, R. S., Karapondo, D. L., Kraemer, W. J., Fry, A. C., Gordon, S. E., Falkel, J. E., et al. (1994). Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *Journal of Applied Physiology*, 76(3), 1247-1255.
- Staron, R. S., Leonardi, M. J., Karapondo, D. L., Malicky, E. S., Falkel, J. E., Hagerman, F. C., et al. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology*, 70(2), 631-640.
- Steinacker, J. M., Wang, L., Lormes, W., Reißnecker, S., & Liu, Y. (2002). Strukturanpassungen des Skelettmuskels auf Training. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 53(12), 354-360.
- Stone, M. H., & O'Bryant, H. S. (1987). *Weight training: a scientific approach*. Edina: Bellwether Press.
- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., & Garhammer, J. G. (1981). A hypothetical model for strength training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 21, 342-351.
- Stone, W. J., & Coulter, S. P. (1994). Strength/Endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8(4), 231-234.

- Takarada, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of low-intensity resistance exercise with short interset rest period on muscular function in middle-aged women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(1), 123-128.
- Takarada, Y., Nakamura, Y., Aruga, S., Onda, T., Miyazaki, S., & Ishii, N. (2000a). Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *Journal of Applied Physiology*, 88(1), 61-65.
- Takarada, Y., Sato, Y., & Ishii, N. (2002). Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 86(4), 308-314.
- Takarada, Y., Takazawa, H., & Ishii, N. (2000b). Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(12), 2035-2039.
- Takarada, Y., Takazawa, H., Sato, Y., Takebayashi, S., Tanaka, Y., & Ishii, N. (2000c). Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *Journal of Applied Physiology*, 88(6), 2097-2106.
- Tesch, P. A. (1998). Strength training and muscle hypertrophy. In K. Häkkinen (Ed.), *Conference book. International conference on weightlifting and strength training* (pp. 17-21). Jyväskylä: University of Jyväskylä.
- Tesch, P. A., & Karlsson, J. (1985). Muscle fiber types and size in trained and untrained muscles of elite athletes. *Journal of Applied Physiology*, 59(6), 1716-1720.
- Thomas, E. L., Saeed, N., Hajnal, J. V., Brynes, A., Goldstone, A. P., Frost, G., et al. (1998). Magnetic resonance imaging of total body fat. *Journal of Applied Physiology*, 85(5), 1778-1785.
- Thrash, K., & Kelly, B. (1987). Flexibility and strength training. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1(4), 74-75.
- Tidow, G. (1995). Muscular adaptations induced by training and detraining - a review of studies. *New Studies in Athletics*, 10, 47-56.
- Tidow, G. (1999). Zur Dimensionalität des Adaptationsraumes im Bereich von Kraftbeanspruchungen. In S. Radandt, R. Grieshaber & W. Schneider (Hrsg.), *Prävention von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren und Erkrankungen - 5. Erfurter Tage* (S. 41-80). Leipzig: Monade Verlag.
- Tidow, G., & Wiemann, K. (1993). Zur Interpretation und Veränderbarkeit von Kraft-Zeit-Kurven bei explosiv-ballistischen Kräfteinsätzen. Teil I: Physiologische Grundlagen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 44(3), 92-103.

- Tipton, K. D., Borsheim, E., Wolf, S. E., Sanford, A. P., & Wolfe, R. R. (2003). Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h balance after exercise and amino acid ingestion. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 284(1), E76-89.
- Tipton, K. D., Ferrando, A. A., Phillips, S. M., Doyle, D., Jr., & Wolfe, R. R. (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *American Journal of Physiology*, 276(4 Pt 1), E628-634.
- Tipton, K. D., Rasmussen, B. B., Miller, S. L., Wolf, S. E., Owens-Stovall, S. K., Petrini, B. E., et al. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 281(2), E197-206.
- Tipton, K. D., & Wolfe, R. R. (1998). Exercise-induced changes in protein metabolism. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162(3), 377-387.
- Ullrich, K., & Gollhofer, A. (1994). Physiologische Aspekte und Effektivität unterschiedlicher Dehnmethode. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 45(9), 336-345.
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (2000). Aktuelle Marker für die Diagnostik von Überlastungszuständen in der Praxis. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51(7+8), 226-233.
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (2003). Trainingsempfehlungen im Gesundheitssport. In W. Kindermann, Dickhuth, H.-H., A. Niess, K. Röcker & A. Urhausen (Hrsg.), *Sportkardiologie* (S. 35-50). Darmstadt: Steinkopff.
- Urhausen, A., Schwarz, S., Stefan, L., Scharz, L., H.H.W., G., & Kindermann, W. (2000). Kardiovaskuläre und metabolische Beanspruchung durch einen Kraftausdauer-Zirkel in der ambulanten Herztherapie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 51(4), 130-136.
- Verdonck, A., & Wilke, C. (1998). Screeningverfahren. In I. Froböse & G. Nellesen (Hrsg.), *Training in der Therapie* (S. 129-146). Wiesbaden: Ullstein Medical.
- Viru, A., & Viru, M. (2001). *Biochemical Monitoring of Sports Training*. Champaign: Human Kinetics.
- Walker, P. M., Brunotte, F., Rouhier-Marcet, I., Cottin, Y., Casillas, J. M., Gras, P., et al. (1998). Nuclear magnetic resonance evidence of different muscular adaptations after resistance training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(11), 1391-1398.
- Wallace, J. P. (2003). Exercise in hypertension. A clinical review. *Sports Medicine*, 33(8), 585-598.

- Ward, A., Pollock, M., Jackson, A., Ayres, J., & Pape, G. (1978). A comparison of body fat determined by underwater weighing and volume displacement. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*, 234(1), E94-96.
- Wathen, D., Baechle, T. R., & Earle, R. W. (2000). Training variation: periodization. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 513-527). Champaign: Human Kinetics.
- Weingarten, B. A. (2000). Bodybuilding HIT. In M. Brzycki (Ed.), *Maximize your training : insights from leading strength and fitness professionals* (pp. 319-334). Lincolnwood: Masters Press.
- Weiss, L. W. (1984). The use of B-mode ultrasound for measuring the thickness of skeletal muscle at two upper leg sites. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 6(2), 163-167.
- Weiss, L. W., Coney, H. D., & Clark, F. C. (1999). Differential functional adaptations to short-term low-, moderate-, and high-repetition weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13(3), 236-241.
- Weiss, L. W., Coney, H. D., & Clark, F. C. (2000). Gross measures of exercise-induced muscular hypertrophy. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 30(3), 143-148.
- Wernig, A., Irintchev, A. (2001). Muskelstammzellen und Muskelregeneration. *Sportorthopädie & Sporttraumatologie*, 17, 5-10.
- Willoughby, D. S. (1993). The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(1), 2-8.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(11), 1279-1286.
- Wirth, K. (2004). *Trainingshäufigkeit beim Hypertrophietraining*. Unveröffentlichte Dissertation. Frankfurt am Main: Johann Wolfgang Goethe Universität.
- Yao, W., Fuglevand, R. J., & Enoka, R. M. (2000). Motor-unit synchronization increases EMG amplitude and decreases force steadiness of simulated contractions. *Journal of Neurophysiology*, 83(1), 441-452.
- Young, A., Stokes, M., Round, J. M., & Edwards, R. H. (1983). The effect of high-resistance training on the strength and cross-sectional area of the human quadriceps. *European Journal of Clinical Investigation*, 13(5), 411-417.

- Young, W. B., & Bilby, G. E. (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7(3), 172-178.
- Zatsiorsky, V. M. (1996). *Krafttraining - Praxis und Wissenschaft* (K. Bartonietz, Trans.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Zimmermann, K. (2000). *Gesundheitsorientiertes Muskelkrafttraining: Theorie - Empirie - Praxisorientierung*. Schorndorf: Hofmann.

10 Abkürzungsverzeichnis

A-V Model	Arteriovenous Model
AZ	Anspannungszeit
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BISP	Bundesinstitut für Sportwissenschaft
BMI	Body Mass Index
CAT	Computerized Axial Tomography
CD	Compact Disc
cm	Zentimeter
CSA	Cross-Sectional Area
CT	Computertomographie
D ₃₀	30% der Distanz vom proximalen Patellapol zur Spina iliaca superior anterior
D ₅₀	50% der Distanz vom proximalen Patellapol zur Spina iliaca superior anterior
D ₇₀	70% der Distanz vom proximalen Patellapol zur Spina iliaca superior anterior
DNA	Deoxyribonucleic acid
dbp	Diastolic blood pressure
D _{kom}	Muskeldicke kombiniert [D ₃₀ , D ₅₀ und D ₇₀]
DUP	Daily undulating periodization
DVZ	Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus
dyn.	Dynamisch
EMG	Elektromyographie
EST	Einsatz-Training
EST-NRM	Einsatz-Training – No Repetition Maximum
EST-RM	Einsatz-Training – Repetition Maximum
EWM	Einerwiederholungsmaximum
FBR	Fractional Breakdown Rate
FT	Fast Twitch
g	Gramm
G1-3	Gewöhnungstraining 1-3
GAS	General Adaption Syndrome

GH	Growth Hormone
HIT	High Intensity Training
HVT	High Volume Training
Hz	Hertz
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
IGF- I	Insulin Like Growth Factor 1
IGF- II	Insulin Like Growth Factor 2
iso.	Isometrisch
K1	Kontrollperson
K2-5	Probanden der Kontrollgruppe 2-5
KA	Kraftausdauer
kg	Kilogramm
L.IGF-1	Liver-Type Insulin Growth Factor-1
LP	Linear Periodization
LVT	Low Volume Training
m	Männlich
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MA	Maximalkraft
MGF	Mechano-Growth Factor
MHC	Myosin Heavy Chain
MHz	Megahertz
ml/kg/min	Milliliter pro Kilogramm (Körpergewicht) pro Minute
mm	Millimeter
mmHg	Millimeter Quecksilbersäule
MQM	Muskelquerschnittsmethode
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunde
N	Newton
NFL	National Football League
P1-17	Proband 1-17
RLP	Reverse linear periodization
RM	Repetition Maximum
RNA	Ribonucleic acid

ROS	Reactive oxygen species
RPE	Rate of Perceived Exertion
sbp	Systolic Blood Pressure
SENIAM	Surface EMG for Non Invasive Assessment of Muscles
SG	Schnelle glykolytische motorische Einheiten
SOG	Schnelle oxidative glykolytische motorische Einheiten
ST	Slow Twitch
T1	Training 1-36
tRNA	Transfer Ribonucleic acid
VO ₂	Sauerstoffaufnahmekapazität
VO _{2max}	Maximale Sauerstoffaufnahmekapazität
w	Weiblich
WDH	Wiederholungen

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schematische Darstellung der Kraft (nach Hollmann et al., 2000, S. 162)	12
Abbildung 2:	Schematische Darstellung der Struktur der motorischen Eigenschaft Kraft (nach Güllich & Schmidtbleicher 1999, S. 224).....	13
Abbildung 3:	Bestimmung der Belastungsintensität mittels des "goal repetition" Systems (nach Baechle et al., 2000, S. 413).....	22
Abbildung 4:	Skalen zur Erfassung des subjektiven Belastungsempfindens (Borg 1973, S. 92; Buskies 1999, S. 15).....	23
Abbildung 5:	Unterteilung der Trainingsformen an Hand der Trainingsvolumina (nach Heiduk et al., 2002, S. 5)	33
Abbildung 6:	Modifizierte Unterteilung der Trainingsformen an Hand der Trainingsvolumina	34
Abbildung 7:	CT Aufnahme eines Muskelquerschnitts des mittleren Oberschenkels. In b und d wird der Querschnitts des Fettgewebes des M. quadrizeps femoris bestimmt (aus Sipilä & Suominen, S. 298).....	42
Abbildung 8:	Auftragen der Messpunkte auf die Folie	46
Abbildung 9:	Positionierung des Schallkopfes	47
Abbildung 10:	Ultraschallbild ohne Längen- und Querschnittsmessungen	48
Abbildung 11:	Ultraschallbild mit Muskeldickenmessung (1=35,7 mm) und Muskelquerschnittsmessung (2=7,36 cm ²)	48
Abbildung 12:	Diffuse Darstellung der Begrenzung des M. rectus femoris (Proband 6)	60

Abbildung 13:	Schema des Verhältnisses von Aminosäurenverfügbarkeit und Proteinmetabolismus. Die zur Proteinsynthese notwendigen Aminosäuren werden aus dem Blutstrom, oder durch zerfallene Muskelproteine gewonnen. Allerdings können von den Muskelfasern auch Aminosäuren zurück in den Blutstrom gelangen (nach Houston, 1999, S. 310)	77
Abbildung 14:	Transformation von Muskelfasertypen (nach Steinacker et al., 2002, S. 355).....	82
Abbildung 15:	Sagittales Ultraschallbild des M. quadrizeps femoris (50% Femurlänge). Der Fiederungswinkel des M. vastus lateralis, VL (θ_p) wurde definiert als der Winkel zwischen den Faszien der Muskelfasern des M. vastus lateralis und der tiefen Aponeurose zwischen dem M. vastus lateralis und dem M. vastus intermedius (Aagaard et al., 2001, S. 615)	84
Abbildung 16:	Schematische Darstellung einer motorischen Einheit (nach Noth, 1994a, S. 33).....	86
Abbildung 17:	Die Bedeutung der Frequenzierung für das Größenordnungsprinzip. LO=langsame motorische Einheiten; SOG=schnelle oxidative glykolytische motorische Einheiten; SG=schnelle glykolytische motorische Einheiten. Es werden vier unterschiedliche motorische Einheiten repräsentativ für das gesamte Faserspektrum eines Muskels dargestellt (nach Sale, 1994, S. 250).....	90
Abbildung 18:	Zusammenhang zwischen Innervationsfrequenz und Kraftanstieg (nach Sale, 1994, S. 255)	91
Abbildung 19:	Gemittelte Blutdruckwerte, die bei der maximalen Herzfrequenz gemessen wurden (nach Kleiner et al., 1996).....	93

Abbildung 20: Der Verlauf der systolischen und diastolischen Blutdruckveränderungen bei 3 Sätzen eines Trainings mit 10 WDH jeweils bis zur subjektiven Ausbelastung (beidbeinige Beinpresse). Der niedrigste Wert vor den einzelnen Sätzen stellt jeweils den Ruheblutdruckwert dar (Gotshall et al., 1999).....	95
Abbildung 21: Endokrine Interaktionen mit Zellen (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 97).....	100
Abbildung 22: Ultraschallbild des M. quadrizeps femoris einer Probandin	107
Abbildung 23: Ultraschallaufnahme des rechten M. quadrizeps femoris des Probanden P2 – Messpunkt D ₃₀ , Testzeitpunkt Pre-Test 2.....	133
Abbildung 24: Messung des geeichten Gewichtes von 10,19 kg mit dem DIGIMAX-Kraftsensor	135
Abbildung 25: Messsystem zur Bestimmung der isometrischen Maximalkraft	136
Abbildung 26: Proband in Ausgangsposition vor der isometrischen Maximalkraftmessung	137
Abbildung 27: Isometrische Maximalkraftentwicklung (iso Max) aller Probanden in Newton (N) – linkes Bein	151
Abbildung 28: Isometrische Maximalkraftentwicklung (iso Max) aller Probanden in Newton (N) – rechtes Bein.....	151
Abbildung 29: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung aller Probanden – linkes und rechtes Bein.....	151
Abbildung 30: Gruppenspezifische isometrische Maximalkraftentwicklung (Newton)	153
Abbildung 31: Vergleich der isometrischen Maximalkraftgewinne im Verhältnis zum Körpergewicht (Newton/kg)	153
Abbildung 32: Gruppenspezifische prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung.....	154
Abbildung 33: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P11 (3 Satz).....	156

Abbildung 34: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P9 (HIT)	156
Abbildung 35: Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung P3 (1 Satz).....	157
Abbildung 36: Prozentuale Isometrische Maximalkraftentwicklung P5 (HIT)	158
Abbildung 37: Kraftausderentwicklung aller Probanden (WDH) – linkes Bein	160
Abbildung 38: Kraftausdauerentwicklung aller Probanden (WDH) – rechtes Bein.....	160
Abbildung 39: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung aller Probanden – linkes und rechtes Bein	160
Abbildung 40: Gruppenspezifische Kraftausdauerentwicklung	161
Abbildung 41: Gruppenspezifische prozentuale Kraftausdauerentwicklung.....	162
Abbildung 42: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P11 (3 Satz).....	164
Abbildung 43: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P9 (HIT).....	164
Abbildung 44: Prozentuale Kraftausdauerentwicklung P3 (1 Satz).....	165
Abbildung 45: P5 (HIT)	166
Abbildung 46: Muskeldickenveränderungen aller Probanden (mm) – linkes Bein	167
Abbildung 47: Muskeldickenveränderungen aller Probanden (mm) – rechtes Bein.....	168
Abbildung 48: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{30}	170
Abbildung 49: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{50}	170
Abbildung 50: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{70}	170
Abbildung 51: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{kom}	171
Abbildung 52: Muskeldickenveränderungen P11 – D_{kom} (3 Satz).....	173
Abbildung 53: Muskeldickenveränderungen P9 – D_{kom} (HIT)	173
Abbildung 54: Muskeldickenveränderung P3 – D_{kom} (1 Satz).....	173
Abbildung 55: Körpergewicht und prozentualer Körperfettanteil aller Probanden über den Trainingszeitraum.....	179
Abbildung 56: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Dreisatz-Trainingsgruppe	180

Abbildung 57: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der HIT-Trainingsgruppe.....	180
Abbildung 58: Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Einsatz-Trainingsgruppe.....	180
Abbildung 59: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P11 (3 Satz).....	182
Abbildung 60: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P9 (HIT).....	182
Abbildung 61: Prozentuale Veränderungen Körpergewicht und % Fettanteil Proband P3 (1 Satz).....	182
Abbildung 62: Isometrische Maximalkraftentwicklung K1 – Kontrollgruppe	183
Abbildung 63: Kraftausdauerentwicklung K1 – Kontrollgruppe	184
Abbildung 64: Muskeldickenveränderungen K1 – D ₃₀ (Kontrollgruppe)	185
Abbildung 65: Muskeldickenveränderungen K1 – D ₅₀ (Kontrollgruppe)	185
Abbildung 66: Muskeldickenveränderungen K1 – D ₇₀ (Kontrollgruppe)	185
Abbildung 67: Muskeldickenveränderungen K1 – D _{kom} (Kontrollgruppe)	186
Abbildung 68: Prozentuale Veränderungen des Körpergewichtes und des Körperfettanteils des Probanden K1	187
Abbildung 69: Mittelwerte der Muskeldicke – Probanden K2-K5 Pre-Post * Signifikant p<0,05.....	188
Abbildung 70: Maximale prozentuale Veränderung der isometrischen Maximalkraft und der Kontrollgruppe (K2-K5) * p<0,05	190
Abbildung 71: Maximale prozentuale Veränderung der Kraftausdauer der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (K2-K5) * Signifikant p<0,05 ** Hoch signifikant p<0,01	191

Abbildung 72: Maximale prozentuale Veränderung der Muskeldicke der Trainingsgruppen und der Kontrollgruppe (K2-K5) * Signifikant $p < 0,05$	192
Abbildung 73: Individuelle trainingsinduzierte Querschnittsveränderungen des M. erector spinae nach einem dreimonatigem dynamischen Krafttraining. Die Trainingsgruppe 1 trainierte ein Mal pro Woche, die Trainingsgruppe 2 trainierte zwei Mal pro Woche. Es wurde jeweils ein ausbelastender Satz mit 12-15 WDH durchgeführt. (Tidow , 1999, S. 58)	197
Abbildung 74: Prozentuale Veränderungen der isometrischen Maximalkraft der Probanden P9 und P16 der HIT-Trainingsgruppe	201
Abbildung 75: Prozentuale Veränderungen der Kraftausdauer (WDH) der Dreisatz-Trainingsgruppe.....	206
Abbildung 76: Prozentuale Veränderung der relativen Kraftausdauer (Nm) vom Eingangstest zum Ausgangstest sowie zum Überdauerungstest der Probanden der Treatmentgruppen (aus Fröhlich, 2003, S. 186)	209
Abbildung 77: Relative prozentuale Veränderung der gemittelten Muskeldicke aller Messpunkte der Beinmuskulatur über die 12-wöchige Trainingsdauer. Die gefüllten Symbole repräsentieren die männlichen Probanden, die nicht-gefüllten Symbole die weiblichen Probanden (nach Abe et al., 2000, S. 178).....	213
Abbildung 78: Prozentuale Muskeldickenveränderung D_{kom}	213

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Belastungsintensität und Wiederholungszahlen Zuordnung basierend auf dem jeweiligen Trainingsziel (Baechle et al., 2000, S. 414)	17
Tabelle 2:	Wiederholungsmaximum Kontinuum (nach Baechle et al., 2000, S. 414).....	18
Tabelle 3:	Maximal mögliche Wiederholungszahlen bei vorgegebener Belastungsintensität von 60 % des EWM (nach Buskies & Boeckh-Behrens, 1999, S. 5)	19
Tabelle 4:	Veränderungen der Maximalkraftwerte nach einem achtwöchigen Krafttraining mitunterschiedlichen Belastungsintensitäten (nach Boeckh-Behrens & Buskies, 2001, S. 50)	25
Tabelle 5:	Theoretisches Modell der Periodisierung von Krafttraining (nach Stone & O'Bryant, 1987, S. 123).....	37
Tabelle 6:	Beispiel für verschiedene Belastungsnormative für ein einwöchiges Krafttraining nach einem nonlinearem Periodisierungsmodell (nach Fleck & Kraemer, 1997, S. 105)	38
Tabelle 7:	Anthropometrische Daten	45
Tabelle 8:	Muskeldickenmessungen in mm.....	49
Tabelle 9:	Muskelquerschnittsmessungen in cm ²	50
Tabelle 10:	Prozentuale Querschnittsvergrößerung der Muskelfasertypen nach 8 Wochen Krafttraining (nach Campos et al., 2002, S. 55)	72
Tabelle 11:	Die wichtigsten Klassifizierungssysteme der primären Skelettmuskelfasertypen (nach Fleck & Kraemer, 2004, S. 69).....	80
Tabelle 12:	Eigenschaften der menschlichen Skelettmuskelfasertypen (nach Steinacker et al., 2002, S. 355).....	81

Tabelle 13:	Auswirkungen eines dynamischen Krafttrainings auf die isometrische Maximalkraft der Beinstreckmuskulatur.....	114
Tabelle 14:	Die Variation der Belastungsnormativa in der Studie von Rhea et al. (2003, S. 84).....	117
Tabelle 15:	Anthropometrische Daten und Beruf.....	127
Tabelle 16:	Ablaufplan der Studie (Die Gewöhnungstrainingseinheiten sind mit G1-G3 gekennzeichnet. T1-T36 symbolisieren die einzelnen Trainingseinheiten. Die Kreuze symbolisieren, welche Tests zu welchen Zeitpunkten durchgeführt wurden).....	130
Tabelle 17:	Überprüfung des Messfehlers des Kraftsensors mit einem geeichten Gewicht von 10,19 KG (99,96 Newton).	135
Tabelle 18:	Anthropometrische Daten der Kontrollgruppe zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen der am Kraftmessstuhl erhobenen isometrischen Maximalkraft und der dynamischen Maximalkraft am SCHNELL-Beinstreckgerät	138
Tabelle 19:	Vergleich der isometrischen Maximalkraftwerte (iso. MAX) am Kraftmessstuhl mit den dynamischen Maximalkraftwerten (dyn. MAX) am SCHNELL-Beinstreckgerät sowie das davon abgeleitete Kraftausdauer Testgewicht (KA Test) und das prozentuale Verhältnis dieses Gewichtes zur dynamischen Maximalkraft (% dyn. MAX)	139
Tabelle 20:	Trainingsübungen	142
Tabelle 21:	Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Wallis und Moore).....	155
Tabelle 22:	Überprüfung gruppenspezifischer Trends der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Cox und Stuart)	155

Tabelle 23:	Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenwechsel (Wallis und Moore).....	163
Tabelle 24:	Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Kraftausdauer (Cox und Stuart).....	163
Tabelle 25:	Korrelation der Messpunkte der Muskeldickenmessungen (Rangkorrelation nach Kendall)	169
Tabelle 26:	Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenwechsel der Muskeldickenveränderung (Wallis und Moore).....	171
Tabelle 27:	Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Muskeldickenveränderung (Cox und Stuart).....	172
Tabelle 28:	Muskeldickenveränderungen des M. vastus intermedius und des M. rectus femoris (mm).....	178
Tabelle 29:	Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Körpergewichtsentwicklung der Trainingsgruppen (Cox und Stuart)	181
Tabelle 30:	Überprüfung gruppenspezifischer Trends der Veränderungen des prozentualen Körperfettanteils der Trainingsgruppen (Cox und Stuart).....	181
Tabelle 31:	Inferenzstatistische Daten der maximalen prozentualen Muskeldickenveränderungen (Wilcoxon-Test).....	193

13 Anhang

Anhang A - Vorstudie – Ultraschall

Beispiel Ultraschallbilder – Sonoline G 50

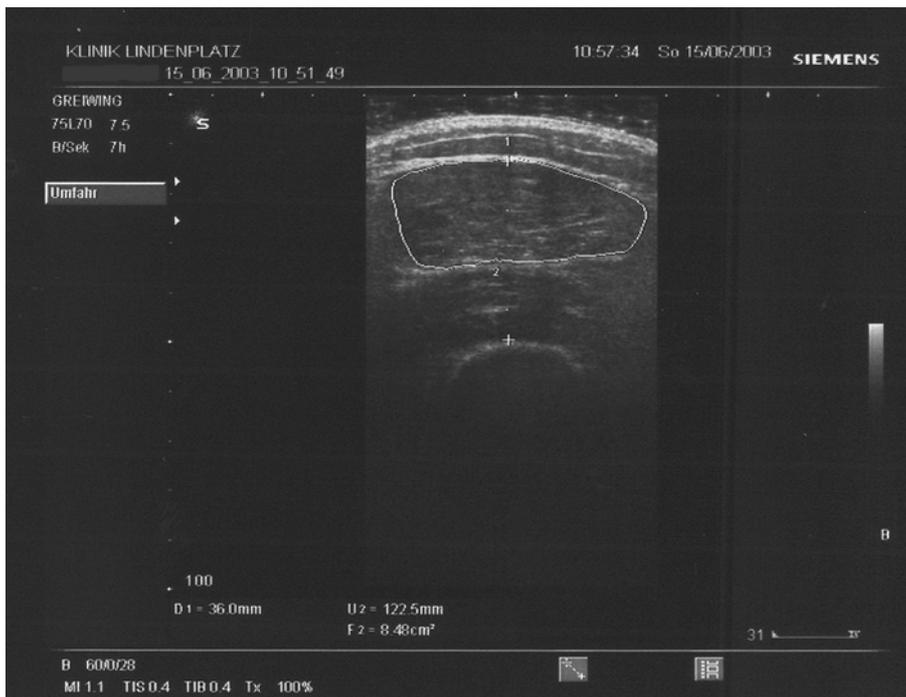


Abbildung A1: Proband 1 – Tag 1 – Messung 1

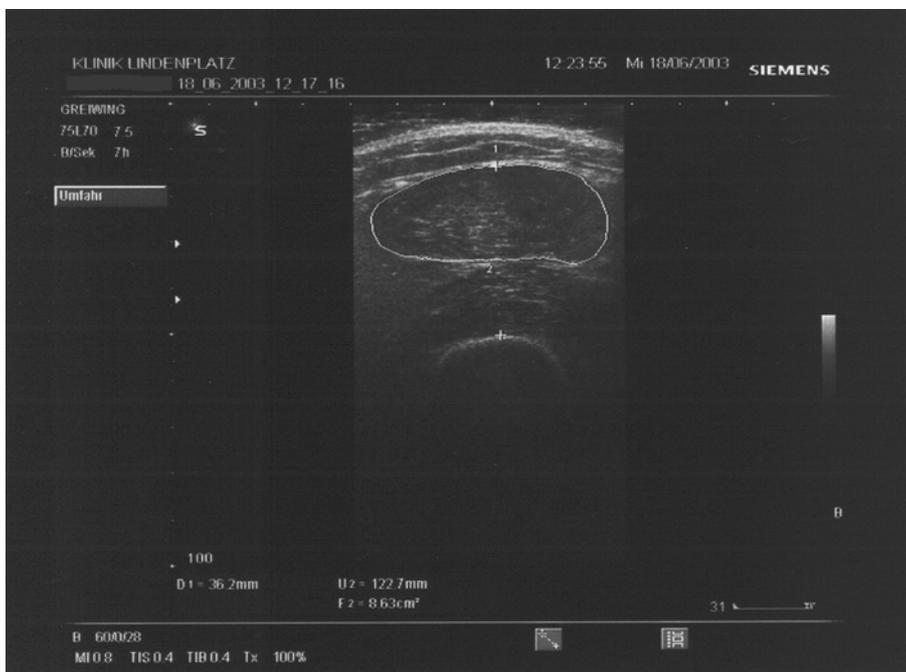


Abbildung A2: Proband 1 – Tag 2 – Messung 1



Abbildung A3: Proband 2 – Tag 1 – Messung 1



Abbildung A4: Proband 2 – Tag 2 – Messung 1

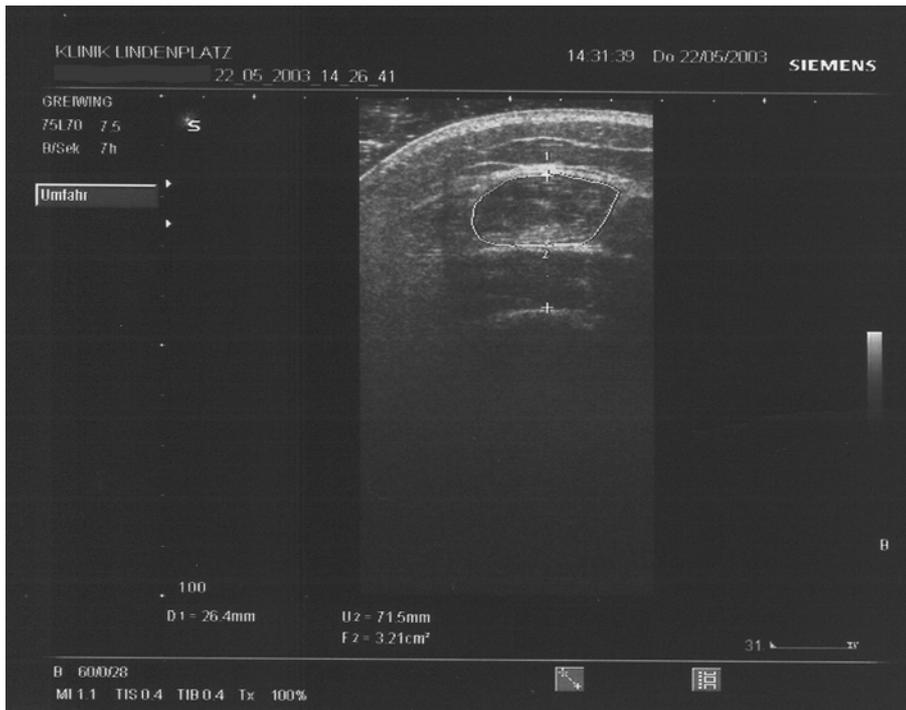


Abbildung A5: Proband 3 – Tag 1 – Messung 1

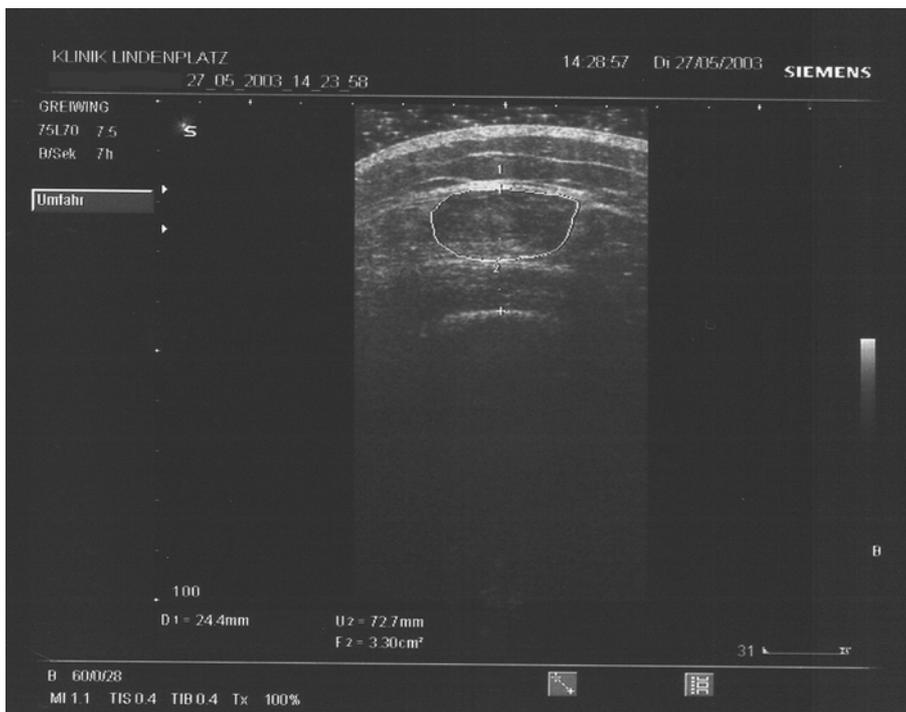


Abbildung A6: Proband 3 – Tag 2 – Messung 1

Scion Vermessung

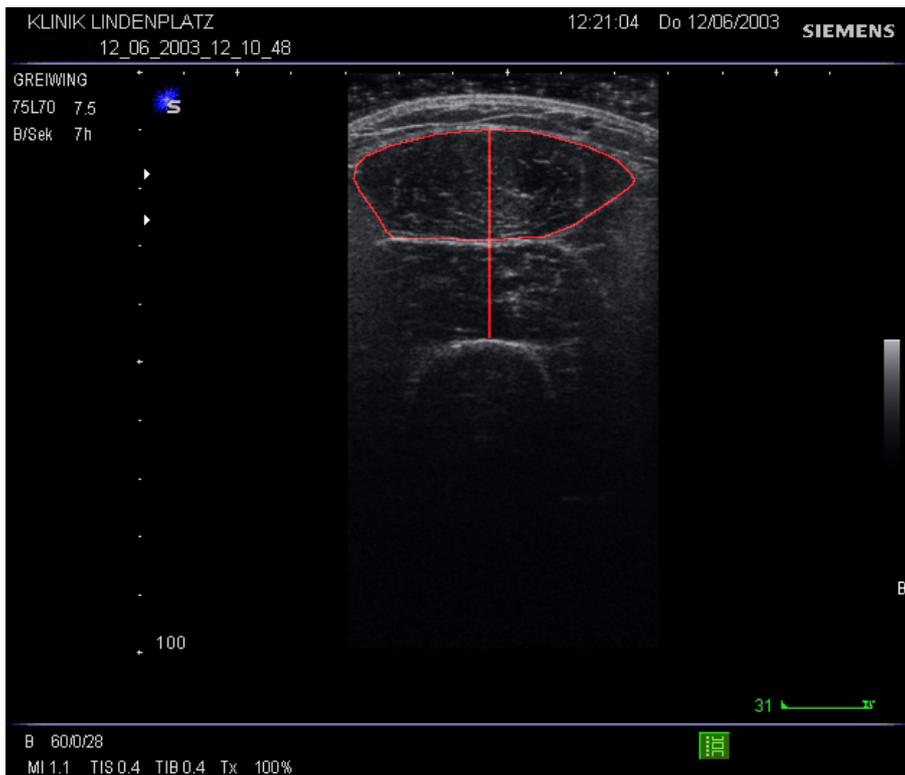


Abbildung A7: Proband 2 – Tag 1 – Messung 1



Abbildung A8: Proband 2 – Tag 2 – Messung 1

Statistische Überprüfung der mit dem Siemens G40 Ultraschallgerät durchgeführten Messungen

Tabelle TA1: Korrelation der Siemens G40 Messwerte der Muskeldicke (Rangkorrelation nach Kendall)

		pre1	pre2	pre3	pre4	post1	psot2	post3	post4	s_Tag1	s_Tag2
pre1	τ	1,000	0,944	0,932	0,854	0,989	0,822	0,809	0,764	0,422	0,405
	p		0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,089	0,106
pre2	τ	0,944	1,000	0,874	0,795	0,932	0,854	0,841	0,750	0,405	0,364
	p	0,000		0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,003	0,106	0,149
pre3	τ	0,932	0,874	1,000	0,920	0,920	0,750	0,828	0,828	0,477	0,460
	p	0,000	0,001		0,000	0,000	0,003	0,001	0,001	0,058	0,070
pre4	τ	0,854	0,795	0,920	1,000	0,841	0,764	0,750	0,886	0,360	0,341
	p	0,001	0,002	0,000		0,001	0,002	0,003	0,000	0,151	0,176
post1	τ	0,989	0,932	0,920	0,841	1,000	0,854	0,841	0,750	0,405	0,386
	p	0,000	0,000	0,000	0,001		0,001	0,001	0,003	0,106	0,125
psot2	τ	0,822	0,854	0,750	0,764	0,854	1,000	0,899	0,809	0,333	0,315
	p	0,001	0,001	0,003	0,002	0,001		0,000	0,001	0,180	0,209
post3	τ	0,809	0,841	0,828	0,750	0,841	0,899	1,000	0,841	0,449	0,432
	p	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000		0,001	0,072	0,087
post4	τ	0,764	0,750	0,828	0,886	0,750	0,809	0,841	1,000	0,449	0,432
	p	0,002	0,003	0,001	0,000	0,003	0,001	0,001		0,072	0,087
s_tag1	τ	0,422	0,405	0,477	0,360	0,405	0,333	0,449	0,449	1,000	0,944
	p	0,089	0,106	0,058	0,151	0,106	0,180	0,072	0,072		0,000
s_tag2	τ	0,405	0,364	0,460	0,341	0,386	0,315	0,432	0,432	0,944	1,000
		0,106	0,149	0,070	0,176	0,125	0,209	0,087	0,087	0,000	

Tabellen T3-T4 – Ergebnisse der Scion Messungen

Tabelle TA3: Muskeldicke (mm)

	pre1	pre2	pre3	pre4	8	post1	post2	post3	post4	8
1	36,1	35,4	35,9	35,1	35,6	36,1	35,9	35,9	34,9	35,7
2	35,6	36,6	35,1	35,1	35,6	35,6	36,3	36,1	34,6	35,7
3	26,6	28,1	27,3	26,6	27,1	24,2	23,9	23,9	23,7	23,9
4	38,5	38,3	37,8	37,6	38,1	36,8	37,6	37,1	36,3	37,0
5	39,8	39,0	39,1	39,9	39,5	39,8	41,7	41,7	41,7	41,2
6	41,6	41,6	40,2	40,0	40,9	40,7	41,2	40,7	40,7	40,9
7	35,4	35,5	34,6	34,7	35,0	35,9	36,4	35,6	35,7	35,9
8	28,3	28,1	27,6	28,1	28,0	27,1	27,6	28,1	28,1	27,7
9	36,6	35,6	35,4	35,4	35,7	36,3	36,8	38,5	38,5	37,6
10	41,7	41,5	41,2	41,0	41,3	40,5	40,7	40,7	40,7	40,7
	1. Messtag				35,7 ($\pm 4,8$)	2. Messtag				35,6 ($\pm 5,7$)

Tabelle TA4: Muskelquerschnitt (cm²)

	pre1	pre2	pre3	pre4	8	post1	post2	post3	post4	8
1	8,76	8,20	7,74	7,55	8,06	8,31	7,67	7,90	7,21	7,77
2	6,99	6,82	6,85	6,48	6,79	6,48	6,99	6,96	5,89	6,58
3	3,05	3,08	2,98	3,34	3,11	2,96	3,20	3,12	3,16	3,11
4	4,56	4,28	4,40	4,22	4,37	4,59	4,61	4,75	4,33	4,57
5	8,23	7,90	8,08	8,73	8,24	8,03	8,28	8,39	8,34	8,26
6	5,09	4,76	5,45	4,34	4,91	4,04	4,58	4,08	4,63	4,33
7	3,91	4,31	3,68	3,84	3,94	3,96	4,14	3,78	4,01	3,97
8	3,88	3,28	3,36	3,53	3,51	3,38	3,33	3,86	3,90	3,62
9	6,40	6,45	6,38	5,88	6,28	6,22	6,3	6,89	7,01	6,61
10	5,84	5,53	5,51	5,43	5,58	5,62	5,99	6,01	6,02	5,91
	1. Messtag				5,48 ($\pm 1,83$)	2. Messtag				5,47 ($\pm 1,80$)

Anhang B – Vergleichsmessung der Ultraschall- geräte

Tabelle TA5 Vergleichsmessung der Ultraschallgeräte Siemens G40 und Fukuda Denshi UF-4500

Muskeldicke Quadrizeps		Siemens (Muskeldicke in mm)	Fukuda Denshi UF-4500 (Muskeldicke in mm)
rechts 30%	Messung 1	40,10	38,00
rechts 30%	Messung 2	41,20	38,00
rechts 50%	Messung 1	48,80	47,00
rechts 50%	Messung 2	48,80	48,00
rechts 70%	Messung 1	53,40	56,00
rechts 70%	Messung 2	51,00	55,00
links 30%	Messung 1	43,30	44,00
links 30%	Messung 2	42,40	44,00
links 50%	Messung 1	49,40	50,00
links 50%	Messung 2	47,40	49,00
links 70%	Messung 1	56,80	56,00
links 70%	Messung 2	57,90	55,00
	8	48,38	48,33
	s	5,86	6,49

Anhang C1 – Isometrische Maximalkraft

Tabelle TA6: Isometrische Maximalkraftwerte linkes Bein (Newton)

	Pre-Test 1	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	592	616	542	541	556	579	611	591	594	623	652	694	663	582	563
P11	787	814	800	746	755	815	804	807	789	799	808	821	887	845	863
P13	401	416	446	413	445	451	468	465	463	475	442	495	488	498	515
P5	338	391	366	373	364	392	372	367	360	353	353	408	387	369	393
P6	408	377	467	389	346	400	451	420	405	397	329	340	410	354	378
P9	668	717	790	744	783	815	763	730	728	748	768	769	728	720	728
P10	723	734	790	733	675	721	738	679	683	703	702	693	689	672	728
P16	410	428	415	454	462	484	474	456	483	463	454	474	518	474	504
P3	643	699	721	687	680	647	669	669	717	765	689	710	714	689	729
P4	489	587	585	607	570	563	613	592	570	569	538	619	509	517	507
P12	362	316	364	361	390	361	363	372	381	400	355	407	397	417	367

Kombiniert	s	529,18	554,09	571,45	549,82	547,82	566,18	575,09	558,86	561,18	572,23	553,64	584,55	580,91	557,91	570,45
	s	158,63	173,78	175,37	158,93	158,05	165,70	157,83	151,63	152,67	163,94	177,05	165,33	164,27	157,77	167,89

3 Satz	s	593,33	615,33	596,00	566,67	585,33	615,00	627,67	621,00	615,33	632,17	634,00	670,00	679,33	641,67	647,00
	s	193,00	199,00	183,07	167,98	157,07	184,65	168,62	172,96	164,04	161,94	183,66	164,32	200,00	181,03	188,59

HIT	s	509,40	529,40	565,60	538,60	526,00	562,40	559,60	530,40	531,80	532,80	521,20	536,80	546,40	517,80	546,20
	s	173,44	180,08	207,94	185,03	194,29	193,98	178,54	163,05	165,33	180,91	202,08	185,46	156,63	169,97	172,95

1 Satz	s	498,00	534,00	556,67	551,67	546,67	523,67	548,33	544,17	556,00	578,00	527,33	578,67	540,00	541,00	534,33
	s	140,72	196,92	180,18	169,90	146,40	147,00	162,93	154,05	168,44	182,67	167,26	155,47	160,76	137,58	182,54

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA7: Isometrische Maximalkraftwerte rechtes Bein (Newton)

	Pre-Test 1	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	552	521	531	517	521	531	588	600	577	627	665	605	623	574	546
P11	771	715	783	743	776	781	828	814	745	783	821	829	863	850	795
P13	429	441	448	394	402	372	395	403	429	435	454	477	470	491	497
P5	394	414	408	421	382	372	382	408	402	395	374	408	425	402	411
P6	438	420	419	421	425	435	442	436	421	415	400	434	439	393	404
P9	748	850	833	841	784	859	833	799	799	805	810	802	753	735	730
P10	661	681	719	710	712	694	698	740	699	719	704	744	715	738	740
P16	387	410	382	414	413	426	448	436	470	424	447	488	507	511	495
P3	770	871	852	833	755	766	831	850	848	845	777	861	855	830	841
P4	551	607	622	604	574	592	623	629	635	592	532	623	594	601	565
P12	372	409	430	401	357	408	395	407	418	427	398	427	458	434	419

Kombiniert	§	552,09	576,27	584,27	572,64	554,64	566,91	587,55	592,86	585,64	587,86	580,18	608,91	609,27	596,27	585,73
	s	160,78	179,08	183,61	180,08	172,35	180,93	186,51	182,94	167,89	176,93	177,83	174,30	165,14	168,11	162,18

3 Satz	§	584,00	559,00	587,33	551,33	566,33	561,33	603,67	605,67	583,67	615,00	646,67	637,00	652,00	638,33	612,67
	s	225,58	266,45	258,61	245,75	215,45	201,70	237,91	247,98	234,41	242,20	206,13	234,95	216,45	209,96	224,94

HIT	§	525,60	555,00	552,20	561,40	543,20	557,20	560,60	563,80	558,10	551,50	547,00	575,20	567,80	555,80	556,00
	s	167,33	201,27	208,67	200,88	189,33	209,91	194,76	189,28	179,56	194,58	197,08	184,00	155,44	171,37	167,32

1 Satz	§	564,33	629,00	634,67	612,67	562,00	588,67	616,33	628,50	633,50	621,33	569,00	637,00	635,67	621,67	608,33
	s	199,33	231,78	211,28	216,13	199,27	179,02	218,08	221,75	214,75	210,54	192,19	217,34	201,75	198,81	214,31

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA8: Isometrische Maximalkraftwerte beide Beine gemittelt (Newton)

	Pre-Test 1	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	572	569	537	529	539	555	600	596	586	625	659	650	643	578	555
P11	779	765	792	745	766	798	816	811	767	791	815	825	875	848	829
P13	415	429	447	404	424	412	432	434	446	455	448	486	479	495	506
P5	366	403	387	397	373	382	377	388	381	374	364	408	406	386	402
P6	423	399	443	405	386	418	447	428	413	406	365	387	425	374	391
P9	708	784	812	793	784	837	798	765	764	776	789	786	741	728	729
P10	692	708	755	722	694	708	718	710	691	711	703	719	702	705	734
P16	399	419	399	434	438	455	461	446	477	444	451	481	513	493	500
P3	707	785	787	760	718	707	750	760	782	805	733	786	785	760	785
P4	520	597	604	606	572	578	618	610	603	581	535	621	552	559	536
P12	367	363	397	381	374	385	379	389	400	414	377	417	428	426	393

Kombiniert	§	540,64	565,18	577,86	561,23	551,23	566,55	581,32	575,86	573,41	580,05	566,91	596,73	595,09	577,09	578,09
	s	156,30	172,57	175,33	166,16	161,41	169,30	168,72	164,89	157,09	166,64	173,69	166,25	161,39	160,30	161,27

3 Satz	§	588,67	587,17	591,67	559,00	575,83	588,17	615,67	613,33	599,50	623,58	640,33	653,50	665,67	640,00	629,83
	s	164,10	157,27	160,01	154,57	156,78	177,50	174,26	170,11	145,13	150,77	164,65	154,35	178,67	165,05	157,46

HIT	§	517,50	542,20	558,90	550,00	534,60	559,80	560,10	547,10	544,95	542,15	534,10	556,00	557,10	536,80	551,10
	s	160,89	180,55	196,52	182,47	181,08	190,56	176,14	167,48	163,31	177,40	188,67	175,34	147,54	162,15	160,51

1 Satz	§	531,17	581,50	595,67	582,17	554,33	556,17	582,33	586,33	594,75	599,67	548,17	607,83	587,83	581,33	571,33
	s	158,54	199,27	180,74	177,05	156,61	150,77	176,15	176,91	177,76	177,88	162,74	172,00	171,36	159,16	182,60

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung der Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe

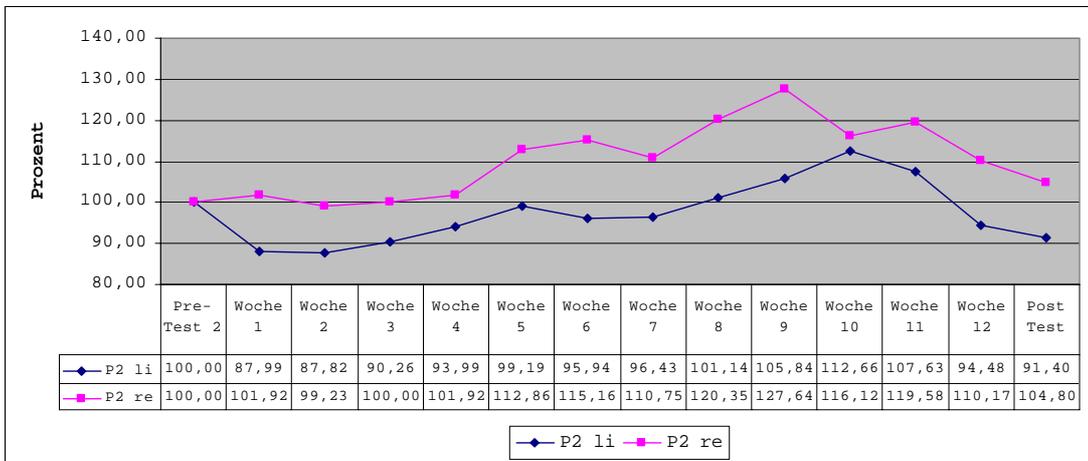


Abbildung A9: Isometrische Maximalkraft P2 (3 Satz)



Abbildung A10: Isometrische Maximalkraft P11(3 Satz)

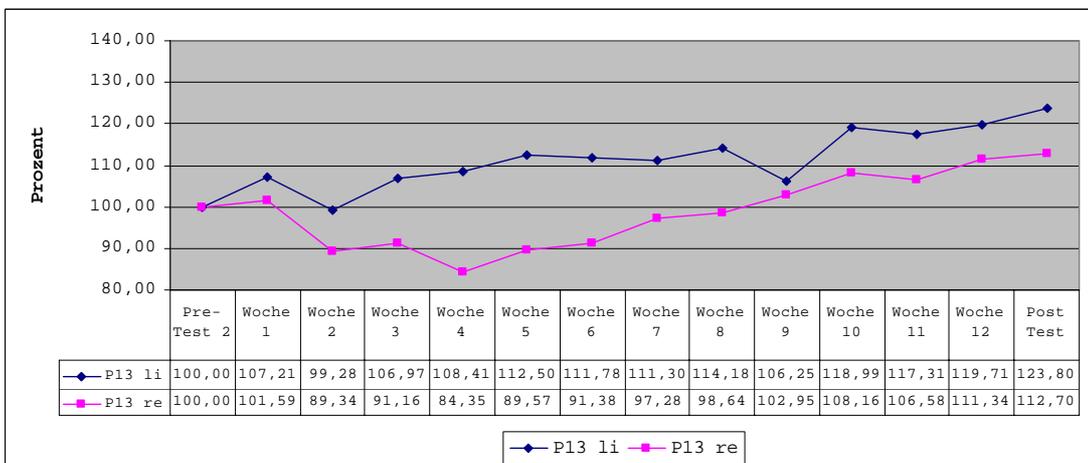


Abbildung A11: Isometrische Maximalkraft P 13 (3 Satz)

Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung der Probanden der HIT-Trainingsgruppe



Abbildung A12: Isometrische Maximalkraft P5 (HIT)

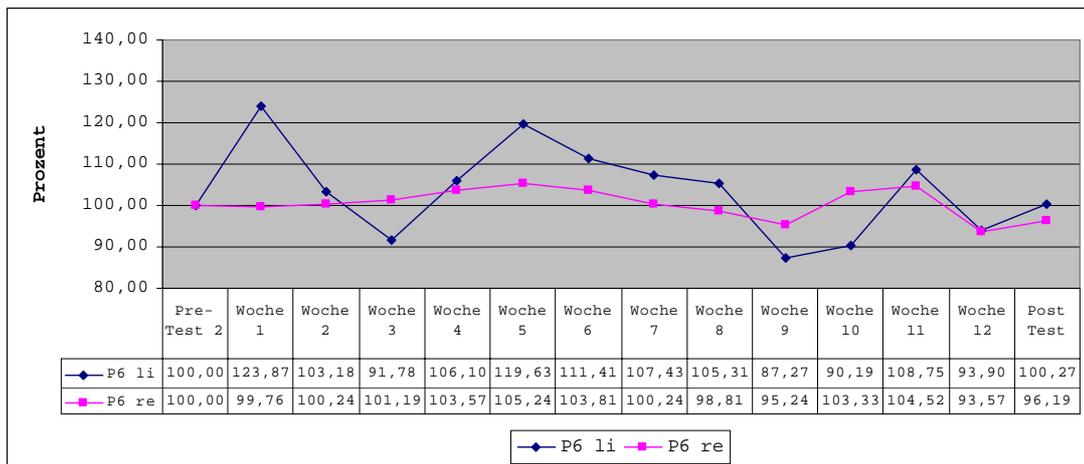


Abbildung A13: Isometrische Maximalkraft P6 (HIT)

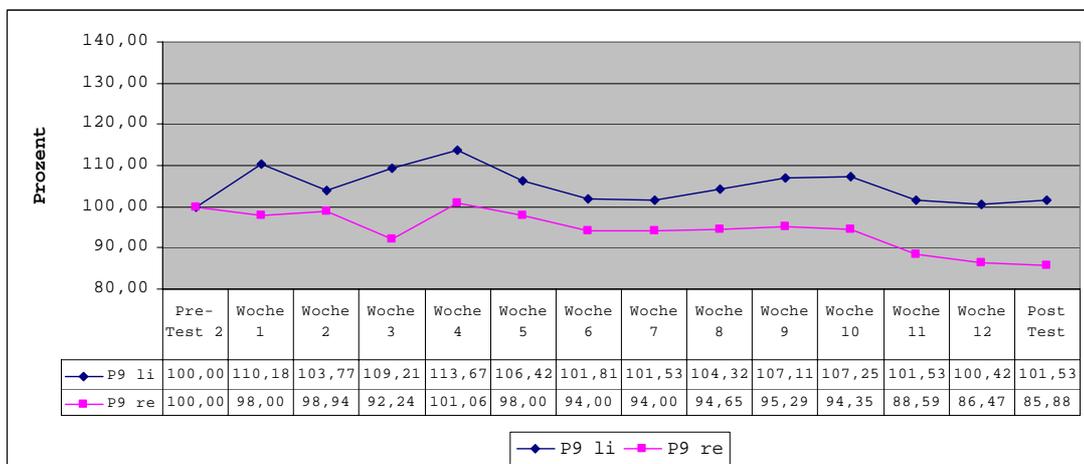


Abbildung A14: Isometrische Maximalkraft P9 (HIT)

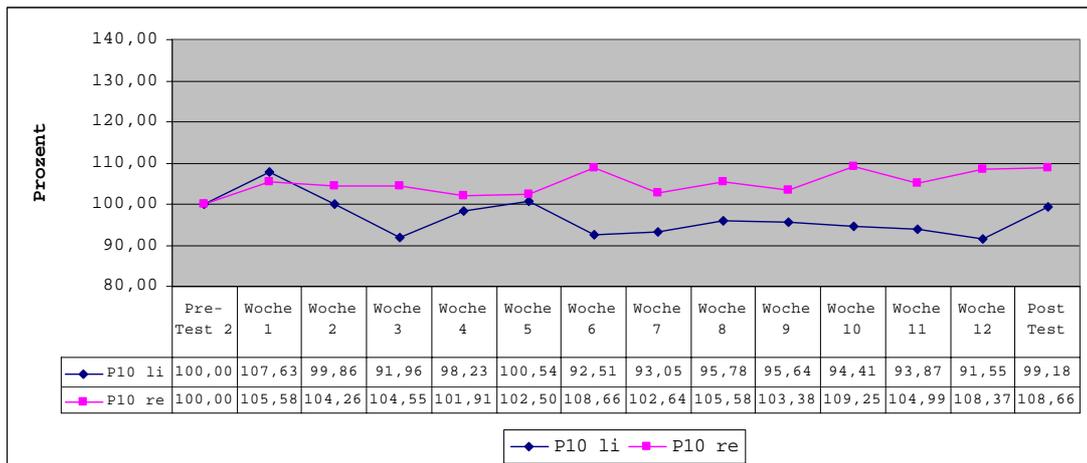


Abbildung A15: Isometrische Maximalkraft P10 (HIT)

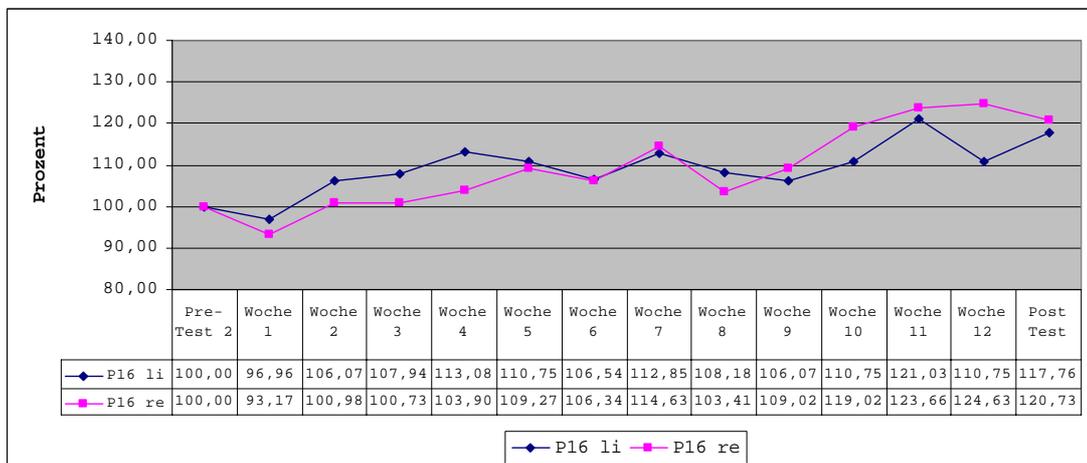


Abbildung A16: Isometrische Maximalkraft P16 (HIT)

Prozentuale isometrische Maximalkraftentwicklung der Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe

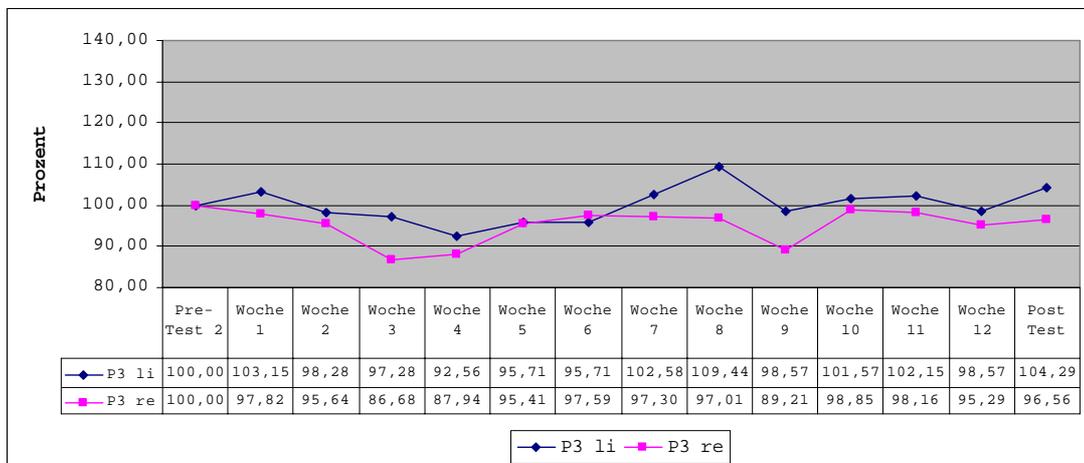


Abbildung A17: Isometrische Maximalkraft P3 (1 Satz)

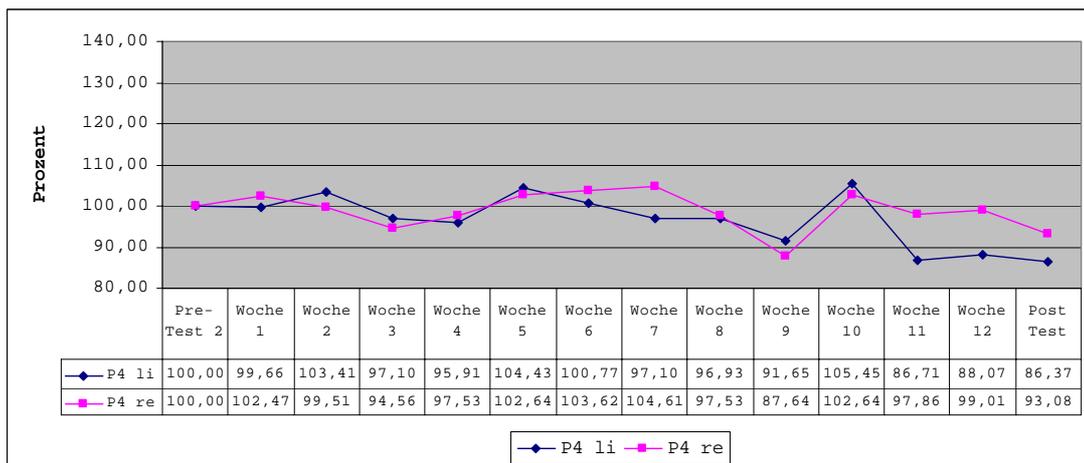


Abbildung A18: Isometrische Maximalkraft P4 (1 Satz)

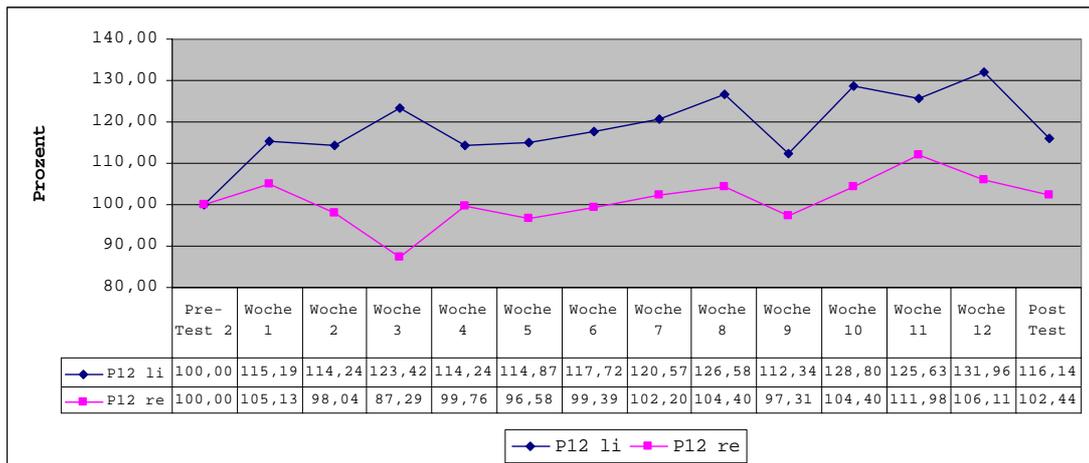


Abbildung A19: Isometrische Maximalkraft P12 (1 Satz)

Tabelle TA9: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der individuellen isometrischen Maximalkraftentwicklung (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	5	0,008**
P2	Dreisatz	Re	8	0,363
P11	Dreisatz	Li	6	0,044*
P11	Dreisatz	Re	6	0,044*
P13	Dreisatz	Li	9	0,628
P13	Dreisatz	Re	7	0,153
P5	HIT	Li	7	0,153
P5	HIT	Re	6	0,044*
P6	HIT	Li	9	0,628
P6	HIT	Re	8	0,363
P9	HIT	Li	10	0,846
P9	HIT	Re	8	0,363
P10	HIT	Li	9	0,628
P10	HIT	Re	8	0,363
P16	HIT	Li	7	0,153
P16	HIT	Re	6	0,044*
P3	Einsatz	Li	7	0,153
P3	Einsatz	Re	8	0,363
P4	Einsatz	Li	7	0,153
P4	Einsatz	Re	11	0,961
P12	Einsatz	Li	8	0,363
P12	Einsatz	Re	9	0,628

* Signifikant (p<0,05)

** Hoch signifikant (p<0,01)

*** Höchst signifikant (p<0,001)

Tabelle TA10: Überprüfung individueller Trends der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P2	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P11	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P11	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P5	HIT	Re	3	1	1	0,154	0,881
P6	HIT	Li	2	3	0	0,154	0,881
P6	HIT	Re	2	3	0	0,154	0,881
P9	HIT	Li	1	4	0	1,080	0,280
P9	HIT	Re	0	5	0	2,006	0,044 ⁺
P10	HIT	Li	1	4	0	1,080	0,280
P10	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P16	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P16	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Li	3	2	0	0,154	0,881
P3	Einsatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P4	Einsatz	Li	1	4	0	1,080	0,280
P4	Einsatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P12	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Re	3	2	0	0,154	0,881

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

⁺ signifikant negativer Trend (p<0,05)

Anhang C2 – Kraftausdauer

Tabelle TA11: Kraftausdauer linkes Bein (WDH)

	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	10	19	23	25	21	21	25	27	29	31	30	33	38	31
P11	20	22	29	33	30	25	20	30	28	26	27	26	30	22
P13	25	27	29	30	25	23	31	30	30	35	33	32	32	35
P5	16	27	30	32	35	34	38	39	40	41	42	44	55	43
P6	37	29	33	37	29	25	32	35	30	42	44	38	42	37
P9	28	30	33	32	32	32	33	33	33	33	32	35	36	35
P10	28	26	29	30	32	31	34	33	35	34	35	37	39	35
P16	25	31	30	31	28	34	32	30	40	37	38	38	47	39
P3	26	28	30	30	36	35	35	35	35	34	37	39	40	33
P4	14	20	16	23	20	25	28	30	25	28	25	32	33	32
P12	20	18	19	19	20	21	20	19	21	20	20	21	22	25

Kombiniert	s	22,64	25,18	27,36	29,27	28,00	27,82	29,77	31,00	31,45	32,82	33,00	34,09	37,64	33,36
	s	7,61	4,62	5,57	5,06	5,80	5,44	5,95	5,18	5,89	6,43	7,25	6,39	8,80	5,94

3 Satz	s	18,33	22,67	27,00	29,33	25,33	23,00	25,33	29,00	29,00	30,67	30,00	30,33	33,33	29,33
	s	7,64	4,04	3,46	4,04	4,51	2,00	5,51	1,73	1,00	4,51	3,00	3,79	4,16	6,66

HIT	s	26,80	28,60	31,00	32,40	31,20	31,20	33,80	34,00	35,60	37,40	38,20	38,40	43,80	37,80
	s	7,53	2,07	1,87	2,70	2,77	3,70	2,49	3,32	4,39	4,04	4,92	3,36	7,46	3,35

1 Satz	s	20,00	22,00	21,67	24,00	25,33	27,00	27,50	28,00	27,00	27,33	27,33	30,67	31,67	30,00
	s	6,00	5,29	7,37	5,57	9,24	7,21	7,50	8,19	7,21	7,02	8,74	9,07	9,07	4,36

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA12: Kraftausdauer rechtes Bein (WDH)

	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	13	20	23	25	23	22	25	26	30	31	34	30	32	31
P11	23	26	29	25	29	23	25	30	28	26	23	26	30	27
P13	25	24	30	29	33	25	30	29	30	33	31	35	32	29
P5	20	21	25	29	36	31	34	33	32	35	38	37	42	40
P6	24	29	31	23	28	27	29	35	28	36	34	35	37	40
P9	26	30	30	29	30	30	31	31	32	32	30	40	32	37
P10	26	28	26	28	30	31	32	32	33	33	29	36	36	34
P16	26	30	34	34	30	34	31	30	39	32	30	37	37	35
P3	23	26	26	30	32	28	28	30	31	31	33	34	35	33
P4	15	21	17	23	20	23	24	25	26	30	27	30	31	31
P12	18	18	21	27	22	21	22	22	22	21	22	24	24	26

Kombiniert	§	21,73	24,82	26,55	27,45	28,45	26,82	28,23	29,32	30,05	30,91	30,09	33,09	33,45	33,00
	s	4,61	4,29	4,93	3,30	4,91	4,33	3,88	3,74	4,30	4,21	4,78	4,97	4,70	4,77

3 Satz	§	20,33	23,33	27,33	26,33	28,33	23,33	26,67	28,33	29,33	30,00	29,33	30,33	31,33	29,00
	s	6,43	3,06	3,79	2,31	5,03	1,53	2,89	2,08	1,15	3,61	5,69	4,51	1,15	2,00

HIT	§	24,40	27,60	29,20	28,60	30,80	30,60	31,40	32,20	32,70	33,60	32,20	37,00	36,80	37,20
	s	2,61	3,78	3,70	3,91	3,03	2,51	1,82	1,92	3,99	1,82	3,77	1,87	3,56	2,77

1 Satz	§	18,67	21,67	21,33	26,67	24,67	24,00	24,50	25,50	26,33	27,33	27,33	29,33	30,00	30,00
	s	4,04	4,04	4,51	3,51	6,43	3,61	3,28	3,77	4,51	5,51	5,51	5,03	5,57	3,61

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA13: Kraftausdauer beide Beine gemittelt (WDH)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		12	20	23	25	22	22	25	27	30	31	32	32	35	31
P11		22	24	29	29	30	24	23	30	28	26	25	26	30	25
P13		25	26	30	30	29	24	31	30	30	34	32	34	32	32
P5		18	24	28	31	36	33	36	36	36	38	40	41	49	42
P6		31	29	32	30	29	26	31	35	29	39	39	37	40	39
P9		27	30	32	31	31	31	32	32	32	33	31	38	34	36
P10		27	27	28	29	31	31	33	33	34	34	32	37	38	35
P16		26	31	32	33	29	34	32	30	40	35	34	38	42	37
P3		25	27	28	30	34	32	32	32	33	33	35	37	38	33
P4		15	21	17	23	20	24	26	28	26	29	26	31	32	32
P12		19	18	20	23	21	21	21	21	22	21	21	23	23	26

Kombiniert	8	22,18	25,00	26,95	28,36	28,23	27,32	29,00	30,16	30,75	31,86	31,55	33,59	35,55	33,18
	s	5,84	4,25	5,07	3,20	5,13	4,74	4,77	4,30	4,98	5,25	5,75	5,44	6,70	5,15

3 Satz	8	19,33	23,00	27,17	27,83	26,83	23,17	26,00	28,67	29,17	30,33	29,67	30,33	32,33	29,17
	s	7,01	3,12	3,62	2,47	4,19	1,44	4,09	1,89	1,04	4,04	4,04	3,88	2,52	4,07

HIT	8	25,60	28,10	30,10	30,50	31,00	30,90	32,60	33,10	34,15	35,50	35,20	37,70	40,30	37,50
	s	4,63	2,66	2,38	1,27	2,76	3,01	2,10	2,41	3,94	2,85	4,09	1,64	5,44	2,67

1 Satz	8	19,33	21,83	21,50	25,33	25,00	25,50	26,00	26,75	26,67	27,33	27,33	30,00	30,83	30,00
	s	5,01	4,65	5,89	4,04	7,81	5,41	5,38	5,91	5,84	6,17	7,09	7,05	7,32	3,97

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Prozentuale Kraftausdauerentwicklung der Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe



Abbildung A20: Kraftausdauer P2 (3 Satz)

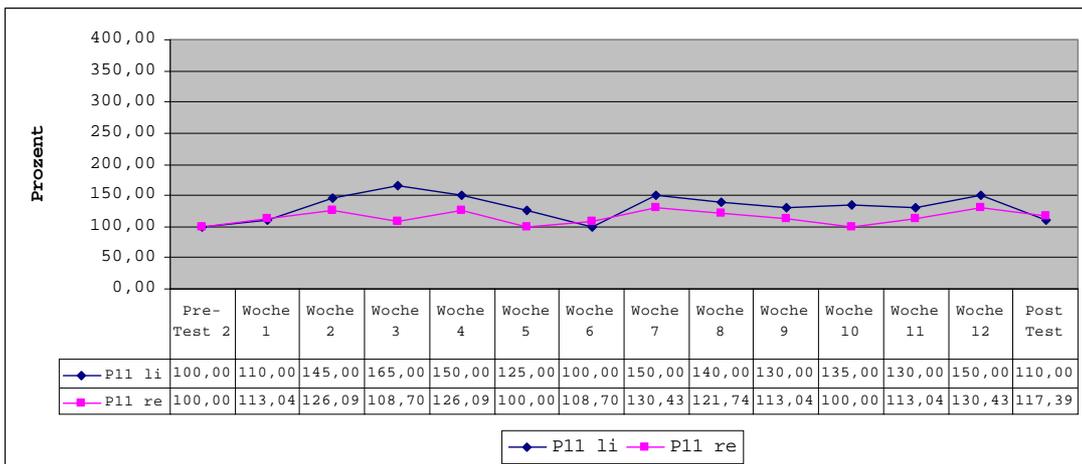


Abbildung A21: Kraftausdauer P11 (3 Satz)

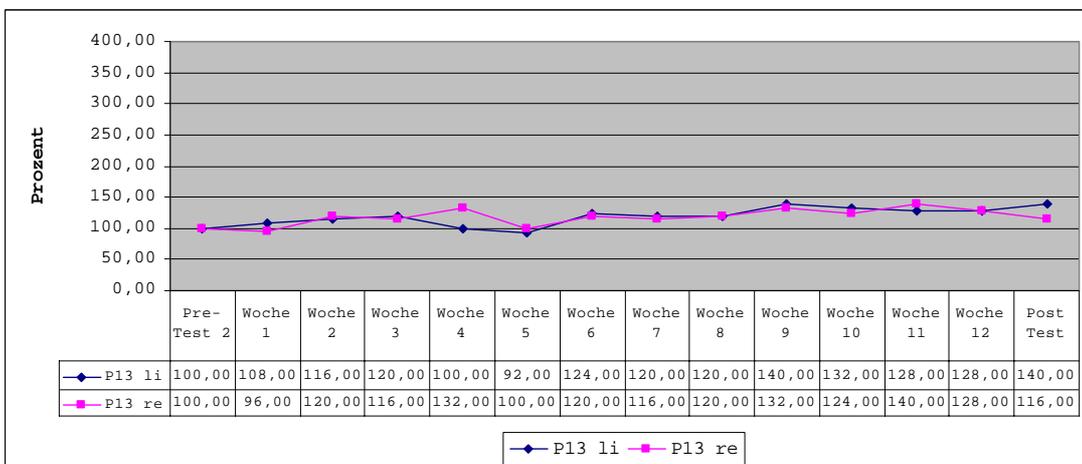


Abbildung A22: Kraftausdauer P 13 (3 Satz)

Prozentuale Kraftausdauerentwicklung der Probanden der HIT-Trainingsgruppe

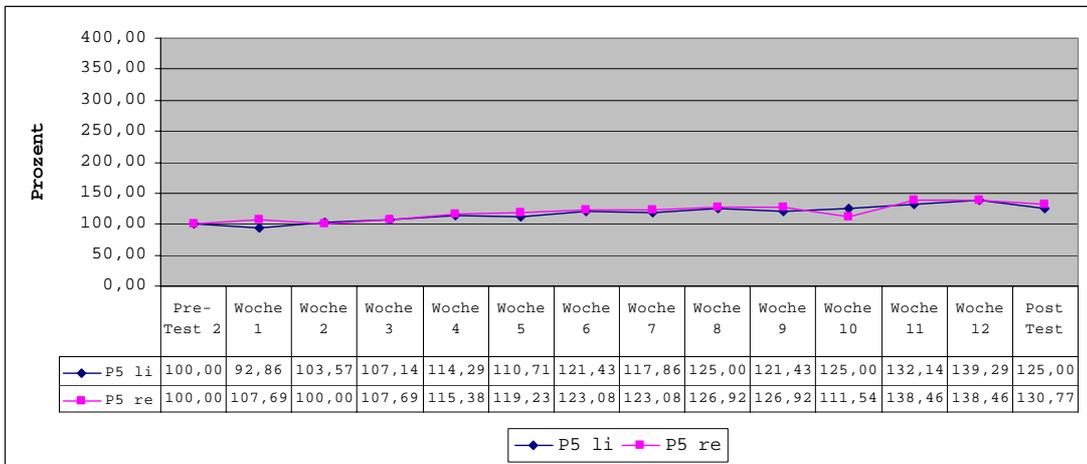


Abbildung A23: Kraftausdauer P5 (HIT)

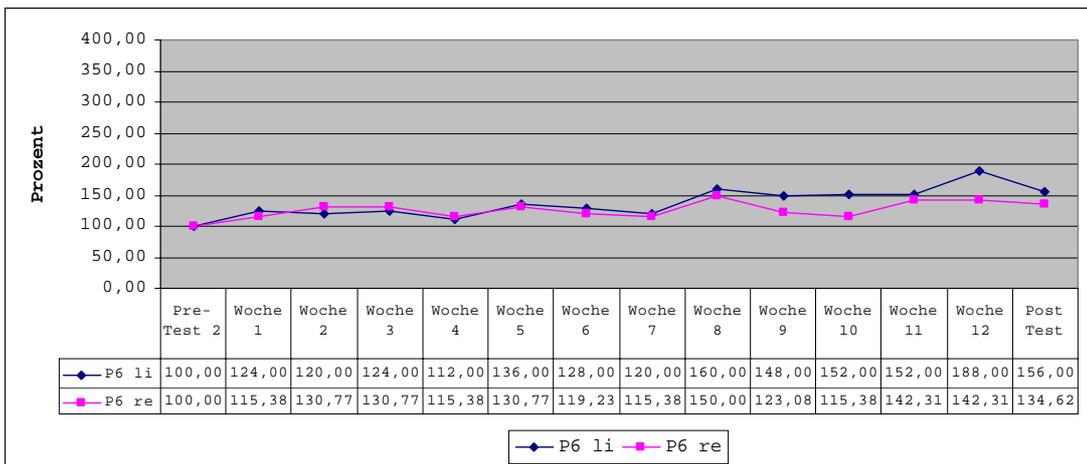


Abbildung A24: Kraftausdauer P6 (HIT)

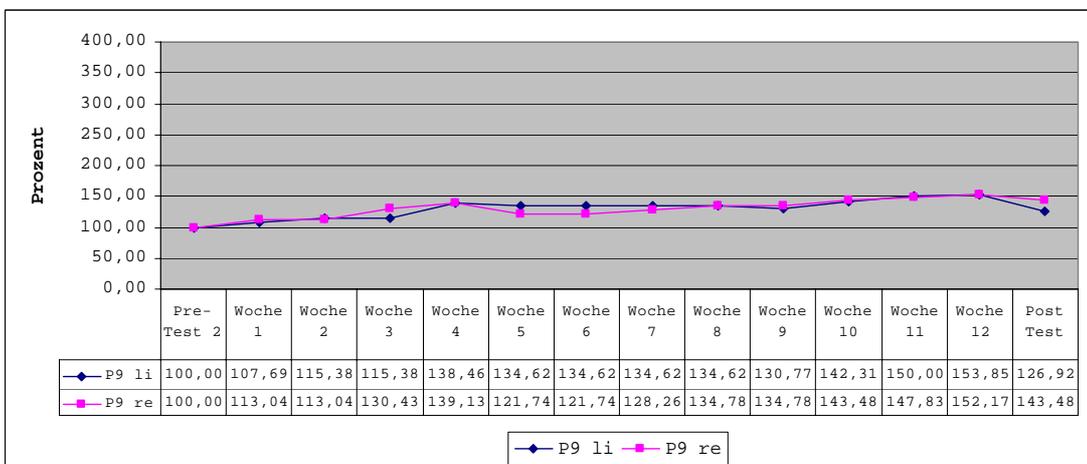


Abbildung A25: Kraftausdauer P9 (HIT)

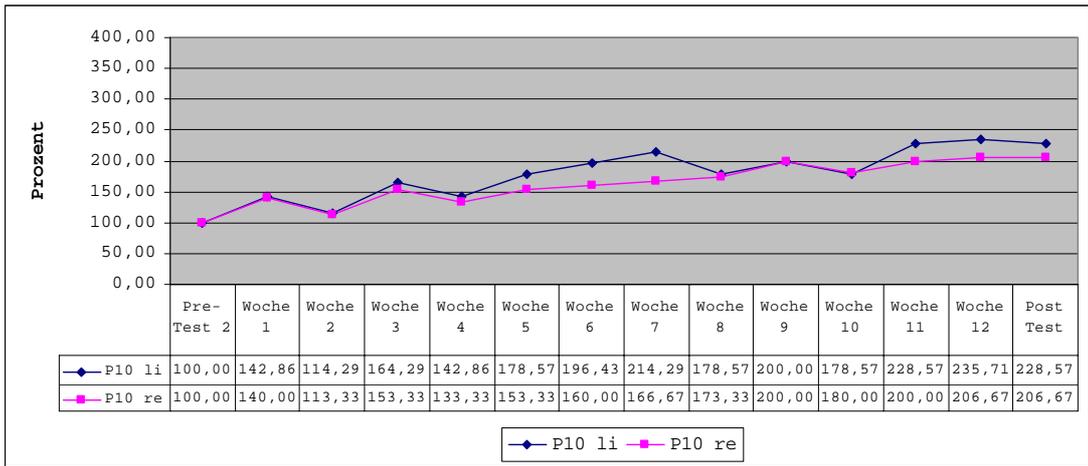


Abbildung A26: Kraftausdauer P10 (HIT)

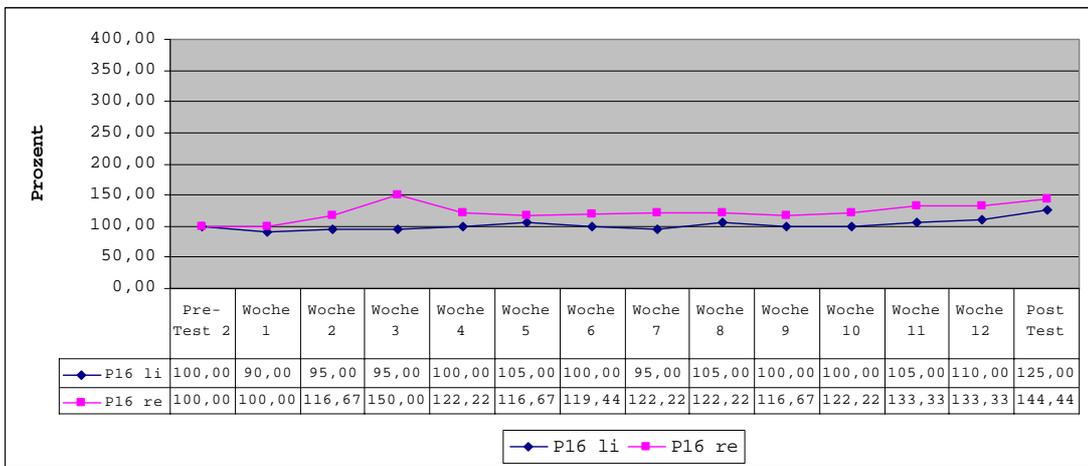


Abbildung A27: Kraftausdauer P16 (HIT)

Prozentuale Kraftausdauerentwicklung der Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe

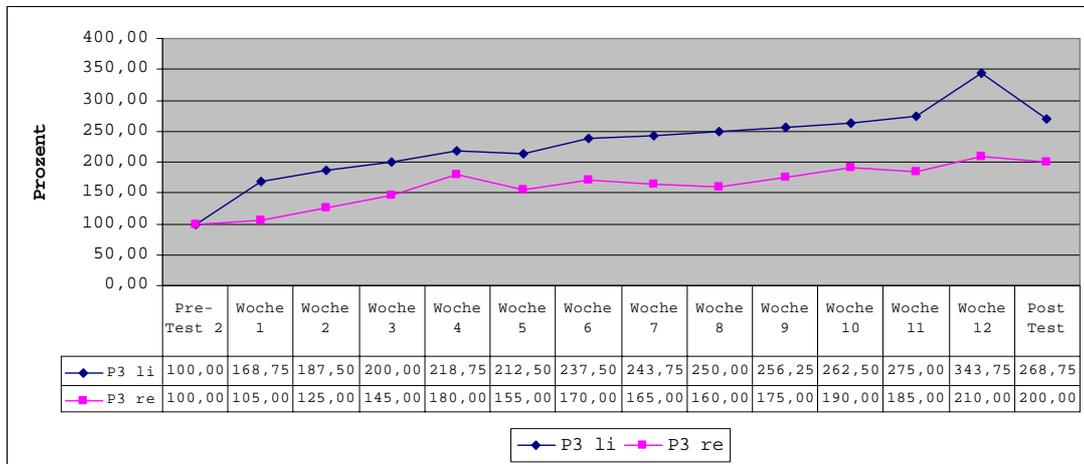


Abbildung A28: Kraftausdauer P3 (1 Satz)

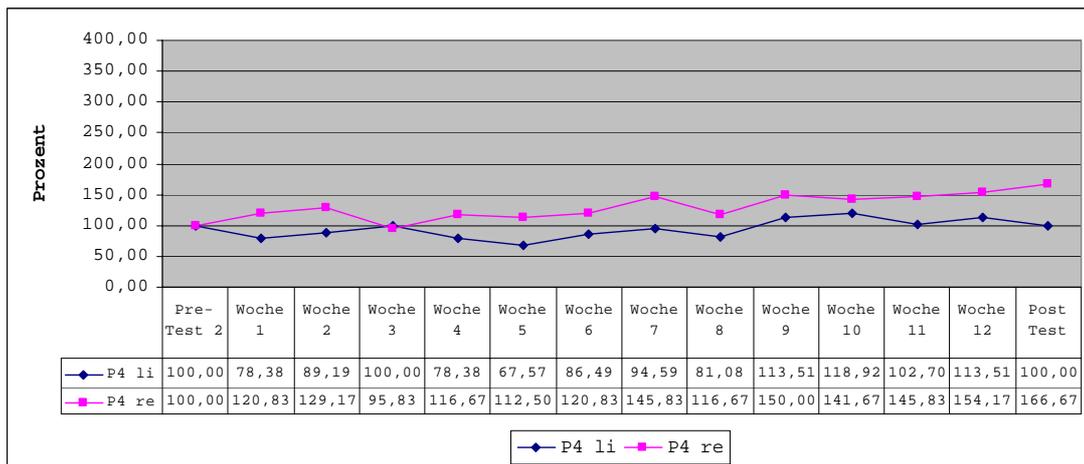


Abbildung A29: Kraftausdauer P4 (1 Satz)

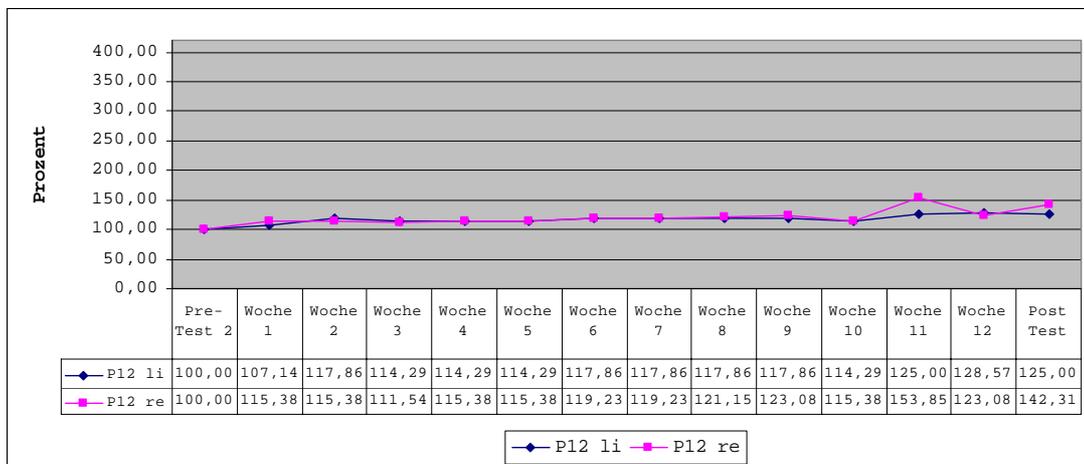


Abbildung A30: Kraftausdauer P12 (1 Satz)

Tabelle TA14: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Kraftausdauerentwicklung (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen [#] (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	6 (13)	0,096
P2	Dreisatz	Re	6	0,044*
P11	Dreisatz	Li	8	0,363
P11	Dreisatz	Re	8	0,363
P13	Dreisatz	Li	7 (12)	0,445
P13	Dreisatz	Re	11	0,960
P5	HIT	Li	4	0,000***
P5	HIT	Re	6	0,044*
P6	HIT	Li	9	0,628
P6	HIT	Re	9	0,628
P9	HIT	Li	6 (9)	0,765
P9	HIT	Re	7 (10)	0,833
P10	HIT	Li	9	0,629
P10	HIT	Re	7 (11)	0,646
P16	HIT	Li	11 (13)	0,993
P16	HIT	Re	8 (12)	0,738
P3	Einsatz	Li	4 (10)	0,063
P3	Einsatz	Re	4 (11)	0,024*
P4	Einsatz	Li	10	0,846
P4	Einsatz	Re	7 (13)	0,028*
P12	Einsatz	Li	6 (12)	0,192
P12	Einsatz	Re	5 (10)	0,243

* Signifikant (p<0,05)

** Hoch signifikant (p<0,01)

*** Höchst signifikant (p<0,001)

[#] Die Werte in Klammern bezeichnen jeweils das reduzierte n, wenn dieses auf Grund von Nullwertdifferenzen reduziert wurde (vgl. Bortz, Lienert, & Boehnke, 1990, S. 257).

Tabelle TA15: Überprüfung individueller Trends der Kraftausdauerentwicklung (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P2	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P11	Dreisatz	Li	2	3	0	0,154	0,881
P11	Dreisatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P13	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P5	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P6	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P6	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P9	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P9	HIT	Re	4	0	1	1,080	0,280
P10	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P10	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P16	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P16	HIT	Re	4	0	1	1,080	0,280
P3	Einsatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P3	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Li	4	0	1	1,080	0,280
P12	Einsatz	Re	4	1	0	1,080	0,280

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

Anhang C3 – Muskeldicke

Tabelle TA16: Muskeldicke linkes Bein – D₃₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		35,58	36,21	35,81	36,37	36,03	33,98	39,97	34,64	34,13	34,17	35,83	36,12	35,36	37,77
P11		40,02	39,53	40,81	39,55	39,34	39,62	39,72	38,95	39,55	40,16	40,28	39,84	42,39	41,57
P13		28,29	29,62	30,73	31,62	31,46	32,34	32,70	31,48	34,13	32,65	30,69	30,05	32,41	32,18
P5		26,87	26,35	26,03	26,28	27,73	28,05	28,02	27,50	26,97	26,88	26,94	26,57	26,79	26,95
P6		29,97	29,60	29,71	28,84	30,12	30,66	30,83	30,48	30,10	30,86	31,19	30,35	30,47	30,37
P9		25,01	24,23	24,89	23,98	25,08	24,73	23,46	23,67	23,67	23,66	23,94	24,49	24,63	24,17
P10		29,19	30,47	30,64	31,96	29,59	28,65	33,03	30,18	29,53	29,40	31,82	29,49	29,72	29,22
P16		32,47	32,79	32,69	33,13	30,78	31,30	33,08	32,92	36,85	33,22	34,59	34,84	31,99	30,85
P3		40,50	39,81	40,78	38,99	41,55	42,34	41,43	42,58	43,73	38,23	42,78	40,32	40,51	38,58
P4		30,67	32,68	33,09	32,36	33,40	33,46	34,42	35,39	34,35	35,62	35,04	34,80	34,83	33,75
P12		22,70	23,16	23,14	23,02	23,20	22,59	22,62	22,64	22,19	22,94	24,10	23,48	23,99	23,27

Kombiniert	s	31,03	31,31	31,67	31,46	31,66	31,61	32,66	31,86	32,29	31,62	32,47	31,85	32,10	31,70
	s	5,73	5,62	5,86	5,57	5,63	5,83	6,28	6,02	6,58	5,56	6,07	5,78	5,94	5,87

3 Satz	s	34,63	35,12	35,78	35,85	35,61	35,31	37,47	35,02	35,94	35,66	35,60	35,34	36,72	37,17
	s	5,92	5,04	5,04	3,99	3,96	3,82	4,13	3,75	3,13	3,97	4,80	4,94	5,12	4,72

HIT	s	28,70	28,69	28,79	28,84	28,66	28,68	29,69	28,95	29,42	28,80	29,69	29,15	28,72	28,31
	s	2,88	3,40	3,25	3,82	2,30	2,59	4,05	3,52	4,87	3,68	4,22	3,94	2,97	2,76

1 Satz	s	31,29	31,88	32,34	31,46	32,72	32,79	32,82	33,54	33,42	32,26	33,97	32,87	33,11	31,87
	s	8,91	8,36	8,84	8,02	9,20	9,89	9,51	10,10	10,80	8,18	9,38	8,59	8,40	7,83

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA17: Muskeldicke linkes Bein – D₅₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		45,26	46,27	47,19	47,14	46,16	46,09	52,12	48,89	44,61	46,06	46,41	48,23	47,13	50,12
P11		49,28	50,23	51,68	51,76	51,46	51,51	53,29	54,19	53,70	53,22	53,03	54,89	54,44	54,19
P13		38,46	39,43	41,52	43,42	42,46	44,11	41,79	41,36	42,53	43,03	42,37	40,24	43,08	44,08
P5		37,77	37,80	37,96	37,31	39,59	38,98	39,77	39,54	39,31	38,16	38,49	39,44	39,00	39,58
P6		36,57	34,63	36,56	36,27	39,97	38,86	40,18	38,20	37,58	38,43	36,78	36,81	35,81	36,34
P9		37,72	36,43	37,45	36,41	39,94	39,24	37,63	37,36	37,28	37,20	36,98	38,05	39,49	37,10
P10		45,78	45,86	46,62	48,02	45,78	46,33	47,29	47,89	46,87	45,62	47,31	46,94	45,78	45,67
P16		43,22	44,02	43,16	44,27	43,46	42,68	42,98	43,99	48,65	44,73	45,06	46,65	44,46	43,01
P3		52,46	54,22	52,87	54,13	53,02	56,21	55,27	56,57	57,88	55,14	56,65	54,47	55,36	56,69
P4		41,83	44,49	44,00	44,95	45,23	44,22	45,47	46,72	45,97	46,25	46,16	46,47	45,92	46,37
P12		31,33	31,26	30,84	31,13	31,67	30,24	29,78	29,32	29,35	31,52	32,97	33,86	31,32	31,58

Kombiniert	§	41,79	42,24	42,71	43,16	43,52	43,49	44,14	44,00	43,98	43,58	43,84	44,19	43,80	44,07
	s	6,17	6,96	6,72	7,14	5,92	6,91	7,57	7,93	8,04	6,98	7,21	7,02	7,27	7,69

3 Satz	§	44,33	45,31	46,80	47,44	46,69	47,24	49,07	48,15	46,95	47,44	47,27	47,79	48,22	49,46
	s	5,47	5,46	5,09	4,18	4,53	3,83	6,33	6,44	5,94	5,23	5,38	7,34	5,75	5,09

HIT	§	40,21	39,75	40,35	40,46	41,75	41,21	41,57	41,40	41,94	40,83	40,92	41,58	40,91	40,34
	s	4,05	4,91	4,35	5,38	2,75	3,27	3,72	4,44	5,40	4,01	4,91	4,85	4,12	3,96

1 Satz	§	41,87	43,32	42,57	43,40	43,30	43,55	43,51	44,20	44,40	44,30	45,26	44,93	44,20	44,88
	s	10,56	11,52	11,09	11,58	10,80	13,00	12,86	13,80	14,33	11,93	11,87	10,39	12,11	12,62

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA18: Muskeldicke linkes Bein – D₇₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		61,64	62,52	61,24	61,54	58,70	55,56	63,84	63,85	58,83	58,93	59,09	60,94	57,34	60,09
P11		59,82	60,69	61,17	62,59	64,11	61,33	62,77	64,36	64,72	65,08	63,69	64,80	64,04	63,89
P13		46,00	46,79	48,84	49,86	51,92	52,12	49,35	47,45	49,07	49,55	48,66	50,92	53,14	55,25
P5		47,28	47,10	47,41	48,23	48,83	47,58	48,04	48,10	48,17	47,47	47,13	47,48	46,91	46,31
P6		46,19	45,81	43,63	46,19	46,71	47,36	48,73	47,06	46,08	48,23	45,43	44,41	44,60	44,01
P9		49,53	50,53	53,97	52,55	54,77	53,35	52,81	53,72	53,32	52,91	52,09	53,57	54,61	53,07
P10		61,54	62,28	62,83	63,03	61,33	60,82	61,22	60,28	59,87	60,10	61,80	60,03	60,98	60,79
P16		51,65	51,36	51,29	53,66	52,11	50,63	50,98	51,98	54,65	53,76	55,39	55,06	53,52	54,20
P3		59,60	62,06	60,95	61,68	62,74	63,28	62,37	64,58	66,78	66,94	65,90	65,11	66,65	66,72
P4		54,49	52,14	53,24	54,44	55,21	55,26	55,59	55,93	56,21	58,46	56,50	55,84	55,75	54,48
P12		39,87	41,22	41,38	41,54	40,73	39,61	39,21	38,81	38,65	40,03	42,18	43,27	42,49	43,71

Kombiniert	§	52,51	52,95	53,27	54,12	54,29	53,36	54,08	54,19	54,21	54,68	54,35	54,68	54,55	54,77
	s	7,43	7,69	7,54	7,35	7,21	7,02	7,83	8,48	8,36	8,12	7,88	7,64	7,70	7,77

3 Satz	§	55,82	56,67	57,08	58,00	58,24	56,34	58,65	58,55	57,54	57,85	57,15	58,89	58,17	59,74
	s	8,55	8,60	7,14	7,07	6,11	4,65	8,07	9,62	7,90	7,82	7,70	7,16	5,50	4,33

HIT	§	51,24	51,42	51,82	52,73	52,75	51,95	52,35	52,23	52,42	52,49	52,37	52,11	52,12	51,68
	s	6,13	6,50	7,29	6,52	5,70	5,53	5,30	5,26	5,47	5,08	6,59	6,21	6,53	6,69

1 Satz	§	51,32	51,81	51,85	52,55	52,89	52,72	52,39	53,10	53,88	55,15	54,86	54,74	54,96	54,97
	s	10,24	10,43	9,86	10,20	11,18	12,04	11,91	13,11	14,21	13,76	11,95	10,96	12,10	11,51

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA19: Muskeldicke linkes Bein – D_{kom}

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		47,49	48,33	48,08	48,35	46,96	45,21	51,98	49,13	45,86	46,39	47,11	48,43	46,61	49,33
P11		49,71	50,15	51,22	51,30	51,64	50,82	51,93	52,50	52,66	52,82	52,33	53,18	53,62	53,22
P13		37,59	38,62	40,36	41,63	41,95	42,86	41,28	40,10	41,91	41,74	40,57	40,40	42,88	43,83
P5		37,31	37,09	37,14	37,27	38,72	38,20	38,61	38,38	38,15	37,50	37,52	37,83	37,57	37,61
P6		37,58	36,68	36,63	37,10	38,93	38,96	39,91	38,58	37,92	39,18	37,80	37,19	36,96	36,91
P9		37,42	37,06	38,77	37,65	39,93	39,11	37,96	38,25	38,09	37,93	37,67	38,71	39,58	38,12
P10		45,51	46,20	46,70	47,67	45,57	45,27	47,18	46,12	45,42	45,04	46,97	45,49	45,50	45,23
P16		42,45	42,72	42,38	43,68	42,12	41,54	42,35	42,96	46,72	43,90	45,01	45,51	43,32	42,69
P3		50,85	52,03	51,53	51,60	52,44	53,94	53,03	54,58	56,13	53,44	55,11	53,30	54,17	54,00
P4		42,33	43,10	43,44	43,91	44,61	44,31	45,16	46,01	45,51	46,78	45,90	45,71	45,50	44,87
P12		31,30	31,88	31,78	31,90	31,87	30,81	30,53	30,26	30,06	31,50	33,08	33,54	32,60	32,85
Kombiniert	§	41,78	42,17	42,55	42,92	43,16	42,82	43,63	43,35	43,49	43,29	43,55	43,57	43,48	43,51
	s	6,14	6,46	6,35	6,45	5,99	6,30	7,01	7,17	7,34	6,63	6,82	6,56	6,68	6,82
3 Satz	§	44,93	45,70	46,56	47,09	46,85	46,30	48,39	47,24	46,81	46,98	46,67	47,34	47,70	48,79
	s	6,45	6,20	5,59	4,95	4,85	4,09	6,16	6,41	5,44	5,56	5,89	6,46	5,45	4,71
HIT	§	40,05	39,95	40,32	40,68	41,05	40,61	41,20	40,86	41,26	40,71	41,00	40,95	40,58	40,11
	s	3,74	4,30	4,21	4,78	2,86	2,89	3,74	3,54	4,41	3,51	4,62	4,19	3,70	3,65
1 Satz	§	41,50	42,34	42,25	42,47	42,97	43,02	42,91	43,62	43,90	43,90	44,70	44,18	44,09	43,91
	s	9,80	10,10	9,93	9,93	10,38	11,62	11,41	12,34	13,11	11,25	11,06	9,97	10,86	10,60

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA20: Muskeldicke rechtes Bein – D₃₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		32,94	33,53	34,76	34,67	33,72	33,10	36,59	32,33	34,20	34,79	35,37	34,51	34,25	32,28
P11		36,18	37,66	38,80	39,14	38,27	39,33	35,78	39,47	39,34	39,21	38,30	39,37	40,38	38,37
P13		27,77	28,98	30,40	30,11	30,70	31,10	31,52	29,36	31,05	31,49	30,85	30,79	33,27	33,11
P5		27,83	25,58	24,93	26,18	26,46	26,31	26,09	25,88	25,67	24,25	24,38	24,07	25,71	25,77
P6		34,41	33,46	32,28	32,12	31,89	32,49	32,04	32,50	31,83	32,52	32,80	31,95	30,88	32,37
P9		23,94	24,71	24,07	24,63	24,98	24,83	24,85	24,55	24,71	24,88	24,51	24,30	24,70	23,98
P10		26,87	29,69	30,73	31,33	29,78	30,78	30,25	32,71	30,26	32,12	33,53	31,41	29,82	31,96
P16		34,59	33,99	33,62	33,90	34,62	34,54	35,29	35,16	35,77	35,39	32,91	34,08	33,62	34,51
P3		36,90	35,72	37,14	35,58	36,90	35,15	35,70	35,64	35,58	35,74	36,38	36,44	35,99	34,25
P4		34,29	34,85	32,75	34,48	32,31	34,83	35,46	36,09	34,95	35,74	34,79	35,40	34,83	35,21
P12		29,48	28,09	25,37	25,59	26,75	26,00	26,19	26,37	26,76	28,59	25,11	28,81	26,28	25,45
Kombiniert	§	31,38	31,48	31,35	31,61	31,49	31,68	31,79	31,82	31,83	32,25	31,72	31,92	31,79	31,57
	s	4,35	4,28	4,90	4,61	4,30	4,48	4,41	4,77	4,68	4,71	4,94	4,80	4,84	4,56
3 Satz	§	32,30	33,39	34,65	34,64	34,23	34,51	34,63	33,72	34,87	35,16	34,84	34,89	35,97	34,59
	s	4,24	4,34	4,20	4,52	3,81	4,29	2,72	5,20	4,18	3,87	3,75	4,30	3,85	3,30
HIT	§	29,53	29,49	29,13	29,63	29,54	29,79	29,70	30,16	29,65	29,83	29,62	29,16	28,95	29,72
	s	4,76	4,30	4,36	4,01	3,93	4,11	4,29	4,66	4,55	4,98	4,74	4,65	3,70	4,57
1 Satz	§	33,55	32,89	31,76	31,88	31,99	32,00	32,45	32,70	32,43	33,36	32,09	33,55	32,37	31,64
	s	3,76	4,18	5,95	5,48	5,08	5,19	5,42	5,49	4,92	4,13	6,10	4,14	5,30	5,38

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA21: Muskeldicke rechtes Bein – D₅₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		50,37	45,26	49,59	50,37	48,51	44,88	47,69	44,20	48,42	51,00	49,22	48,64	47,67	49,43
P11		48,08	49,50	49,11	49,97	50,29	47,92	47,41	48,86	49,83	50,81	47,72	48,67	49,62	50,47
P13		37,01	37,05	39,33	41,46	39,54	41,87	40,88	38,76	39,84	38,47	38,70	39,97	42,65	42,43
P5		43,15	41,51	39,60	39,81	41,49	40,44	39,59	39,56	39,53	38,58	38,24	38,10	39,74	41,02
P6		37,48	35,86	33,70	35,01	38,70	38,21	37,89	37,09	38,73	37,57	38,40	38,73	37,80	37,57
P9		40,32	40,03	39,85	39,08	39,30	38,99	40,83	39,37	39,49	39,60	39,22	40,60	40,61	39,25
P10		50,56	50,60	48,58	51,87	48,93	48,10	51,26	48,11	49,05	50,22	47,75	47,36	47,34	49,27
P16		43,54	43,29	43,49	42,19	43,90	44,91	48,60	45,68	44,24	46,85	45,60	43,83	43,30	44,90
P3		51,48	51,74	50,32	52,24	50,06	50,06	51,38	52,01	52,65	52,87	52,08	54,61	52,61	52,14
P4		46,22	46,21	45,18	45,59	44,42	48,23	48,21	48,20	47,41	45,55	46,02	46,03	46,72	47,94
P12		36,91	37,68	35,81	36,65	37,03	31,33	31,58	31,83	34,91	36,35	32,40	37,00	33,78	34,37
Kombiniert	§	44,10	43,52	43,14	44,02	43,83	43,18	44,12	43,06	44,01	44,35	43,21	43,96	43,80	44,43
	s	5,63	5,61	5,86	6,29	4,96	5,63	6,34	6,16	5,78	6,33	6,08	5,58	5,59	5,89
3 Satz	§	45,15	43,94	46,01	47,27	46,11	44,89	45,33	43,94	46,03	46,76	45,21	45,76	46,65	47,44
	s	7,14	6,33	5,79	5,03	5,76	3,02	3,85	5,05	5,41	7,18	5,69	5,01	3,60	4,37
HIT	§	43,01	42,26	41,05	41,59	42,46	42,13	43,64	41,96	42,21	42,57	41,84	41,72	41,76	42,40
	s	4,87	5,41	5,48	6,30	4,15	4,22	5,92	4,69	4,40	5,63	4,49	3,86	3,69	4,70
1 Satz	§	44,87	45,21	43,77	44,83	43,84	43,21	43,72	44,01	44,99	44,92	43,50	45,88	44,37	44,81
	s	7,38	7,08	7,36	7,83	6,54	10,32	10,63	10,72	9,11	8,28	10,08	8,81	9,63	9,29

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA22: Muskeldicke rechtes Bein – D₇₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		61,35	59,68	63,66	62,31	64,57	54,52	60,51	58,87	59,82	66,38	64,25	64,23	63,44	63,35
P11		61,65	63,22	62,42	62,72	61,68	60,64	59,93	60,44	62,04	63,65	60,98	62,55	64,13	64,03
P13		45,45	45,11	48,28	48,59	47,38	49,80	49,44	48,11	46,87	46,08	47,09	48,38	52,56	50,50
P5		48,78	47,16	48,08	46,91	48,23	46,46	46,71	47,04	47,36	45,48	46,65	46,02	47,58	48,40
P6		45,71	46,25	45,30	44,61	48,77	46,90	46,46	46,43	44,23	45,80	48,99	48,51	48,71	48,96
P9		49,56	49,37	51,00	50,78	50,59	51,52	53,18	53,06	53,20	53,34	52,84	54,13	53,46	52,97
P10		62,43	62,78	60,06	63,05	60,51	60,38	62,21	61,48	61,67	62,61	61,58	60,16	61,96	62,42
P16		53,30	52,56	52,87	53,03	52,24	52,63	54,76	53,48	52,84	54,78	53,01	52,66	52,63	53,93
P3		59,21	61,39	59,03	62,80	60,13	61,51	62,96	63,63	64,30	65,04	64,13	68,62	64,80	64,76
P4		55,71	54,25	55,83	54,03	56,57	56,81	57,25	57,70	56,54	55,08	56,19	54,26	54,33	53,38
P12		44,94	45,39	44,35	45,81	45,89	45,01	43,60	42,18	44,97	44,02	42,18	45,74	43,17	45,52
Kombiniert	§	53,46	53,38	53,72	54,06	54,23	53,29	54,27	53,86	53,99	54,75	54,35	55,02	55,16	55,29
	s	6,94	7,27	6,89	7,42	6,65	5,98	6,90	7,13	7,38	8,61	7,66	7,83	7,40	7,06
3 Satz	§	56,15	56,00	58,12	57,88	57,88	54,99	56,62	55,81	56,24	58,70	57,44	58,39	60,04	59,29
	s	9,27	9,60	8,54	8,04	9,21	5,44	6,23	6,71	8,20	11,02	9,11	8,71	6,49	7,62
HIT	§	51,96	51,62	51,46	51,67	52,07	51,58	52,66	52,30	51,86	52,40	52,61	52,30	52,87	53,34
	s	6,45	6,69	5,60	7,15	4,98	5,63	6,52	6,09	6,66	7,11	5,69	5,46	5,66	5,62
1 Satz	§	53,29	53,68	53,07	54,21	54,20	54,44	54,60	54,50	55,27	54,71	54,17	56,21	54,10	54,55
	s	7,44	8,01	7,72	8,49	7,41	8,50	9,95	11,08	9,73	10,51	11,11	11,56	10,82	9,67

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA23: Muskeldicke rechtes Bein – D_{kom}

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		48,22	46,15	49,34	49,12	48,93	44,17	48,26	45,13	47,48	50,72	49,61	49,13	48,45	48,36
P11		48,64	50,13	50,11	50,61	50,08	49,30	47,71	49,59	50,41	51,22	49,00	50,20	51,38	50,96
P13		36,74	37,05	39,34	40,05	39,21	40,92	40,61	38,74	39,25	38,68	38,88	39,72	42,83	42,01
P5		39,92	38,08	37,54	37,63	38,73	37,74	37,46	37,49	37,52	36,10	36,42	36,06	37,68	38,40
P6		39,20	38,52	37,10	37,25	39,79	39,20	38,79	38,67	38,26	38,63	40,06	39,73	39,13	39,63
P9		37,94	38,04	38,31	38,16	38,29	38,45	39,62	38,99	39,13	39,27	38,86	39,68	39,59	38,74
P10		46,62	47,69	46,46	48,75	46,41	46,42	47,91	47,43	46,99	48,32	47,62	46,31	46,37	47,88
P16		43,81	43,28	43,33	43,04	43,59	44,03	46,22	44,77	44,28	45,67	43,84	43,52	43,19	44,45
P3		49,19	49,62	48,83	50,20	49,03	48,91	50,01	50,43	50,84	51,22	50,86	53,23	51,13	50,38
P4		45,41	45,10	44,59	44,70	44,44	46,62	46,98	47,33	46,30	45,46	45,67	45,23	45,30	45,51
P12		37,11	37,05	35,18	36,02	36,55	34,12	33,79	33,46	35,55	36,32	33,23	37,18	34,41	35,11

Kombiniert	§	42,98	42,79	42,74	43,23	43,18	42,71	43,40	42,91	43,27	43,78	43,10	43,63	43,59	43,77
	s	4,90	5,20	5,47	5,70	4,92	4,97	5,46	5,65	5,49	6,11	5,93	5,66	5,55	5,35

3 Satz	§	44,53	44,44	46,26	46,59	46,07	44,80	45,53	44,49	45,71	46,87	45,83	46,35	47,55	47,11
	s	6,75	6,70	6,01	5,71	5,98	4,22	4,27	5,45	5,78	7,10	6,03	5,77	4,35	4,60

HIT	§	41,50	41,12	40,55	40,97	41,36	41,17	42,00	41,47	41,24	41,60	41,36	41,06	41,19	41,82
	s	3,60	4,28	4,14	4,94	3,51	3,83	4,72	4,37	4,17	5,15	4,41	3,95	3,54	4,17

1 Satz	§	43,90	43,92	42,87	43,64	43,34	43,21	43,59	43,74	44,23	44,33	43,25	45,21	43,61	43,67
	s	6,18	6,36	6,99	7,15	6,31	7,96	8,63	9,04	7,86	7,51	9,06	8,02	8,49	7,80

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA24: Muskeldicke beide Beine gemittelt – D₃₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		34,26	34,87	35,29	35,52	34,88	33,54	38,28	33,48	34,17	34,48	35,60	35,31	34,80	35,03
P11		38,10	38,59	39,80	39,34	38,81	39,47	37,75	39,21	39,45	39,69	39,29	39,60	41,38	39,97
P13		28,03	29,30	30,57	30,86	31,08	31,72	32,11	30,42	32,59	32,07	30,77	30,42	32,84	32,65
P5		27,35	25,97	25,48	26,23	27,09	27,18	27,06	26,69	26,32	25,56	25,66	25,32	26,25	26,36
P6		32,19	31,53	31,00	30,48	31,00	31,57	31,43	31,49	30,97	31,69	31,99	31,15	30,67	31,37
P9		24,47	24,47	24,48	24,30	25,03	24,78	24,15	24,11	24,19	24,27	24,22	24,40	24,66	24,08
P10		28,03	30,08	30,69	31,65	29,69	29,71	31,64	31,44	29,90	30,76	32,67	30,45	29,77	30,59
P16		33,53	33,39	33,16	33,51	32,70	32,92	34,19	34,04	36,31	34,30	33,75	34,46	32,81	32,68
P3		38,70	37,77	38,96	37,28	39,22	38,75	38,57	39,11	39,66	36,98	39,58	38,38	38,25	36,41
P4		32,48	33,76	32,92	33,42	32,86	34,14	34,94	35,74	34,65	35,68	34,91	35,10	34,83	34,48
P12		26,09	25,62	24,26	24,31	24,97	24,29	24,40	24,51	24,48	25,76	24,61	26,14	25,13	24,36
Kombiniert	§	31,20	31,40	31,51	31,54	31,58	31,64	32,23	31,84	32,06	31,93	32,10	31,89	31,95	31,63
	s	4,77	4,81	5,32	5,02	4,85	4,98	5,22	5,22	5,48	5,01	5,41	5,17	5,34	5,03
3 Satz	§	33,46	34,25	35,22	35,24	34,92	34,91	36,05	34,37	35,40	35,41	35,22	35,11	36,34	35,88
	s	5,08	4,68	4,62	4,25	3,86	4,05	3,42	4,46	3,59	3,89	4,27	4,60	4,47	3,74
HIT	§	29,11	29,09	28,96	29,24	29,10	29,23	29,69	29,56	29,54	29,32	29,66	29,15	28,83	29,02
	s	3,70	3,76	3,77	3,84	3,06	3,29	4,02	4,04	4,66	4,25	4,38	4,21	3,32	3,64
1 Satz	§	32,42	32,38	32,05	31,67	32,35	32,40	32,64	33,12	32,93	32,81	33,03	33,21	32,74	31,75
	s	6,30	6,19	7,39	6,66	7,14	7,38	7,36	7,65	7,73	6,14	7,66	6,34	6,80	6,47

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA25: Muskeldicke beide Beine gemittelt – D₅₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		47,81	45,76	48,39	48,76	47,34	45,48	49,90	46,54	46,52	48,53	47,82	48,43	47,40	49,77
P11		48,68	49,87	50,40	50,86	50,88	49,71	50,35	51,52	51,77	52,01	50,37	51,78	52,03	52,33
P13		37,73	38,24	40,43	42,44	41,00	42,99	41,33	40,06	41,19	40,75	40,54	40,11	42,87	43,25
P5		40,46	39,66	38,78	38,56	40,54	39,71	39,68	39,55	39,42	38,37	38,37	38,77	39,37	40,30
P6		37,03	35,24	35,13	35,64	39,33	38,54	39,03	37,64	38,16	38,00	37,59	37,77	36,81	36,95
P9		39,02	38,23	38,65	37,75	39,62	39,11	39,23	38,37	38,39	38,40	38,10	39,33	40,05	38,18
P10		48,17	48,23	47,60	49,95	47,36	47,21	49,28	48,00	47,96	47,92	47,53	47,15	46,56	47,47
P16		43,38	43,65	43,33	43,23	43,68	43,79	45,79	44,84	46,44	45,79	45,33	45,24	43,88	43,95
P3		51,97	52,98	51,60	53,18	51,54	53,13	53,32	54,29	55,26	54,00	54,36	54,54	53,98	54,41
P4		44,03	45,35	44,59	45,27	44,82	46,22	46,84	47,46	46,69	45,90	46,09	46,25	46,32	47,15
P12		34,12	34,47	33,32	33,89	34,35	30,78	30,68	30,57	32,13	33,94	32,68	35,43	32,55	32,97

Kombiniert	§	42,94	42,88	42,93	43,59	43,68	43,34	44,13	43,53	43,99	43,97	43,53	44,07	43,80	44,25
	s	5,73	6,14	6,17	6,58	5,30	6,14	6,72	6,95	6,77	6,46	6,53	6,20	6,39	6,72

3 Satz	§	44,74	44,62	46,40	47,35	46,40	46,06	47,20	46,04	46,49	47,10	46,24	46,77	47,43	48,45
	s	6,08	5,89	5,27	4,38	5,01	3,40	5,08	5,75	5,29	5,77	5,10	6,01	4,58	4,68

HIT	§	41,61	41,00	40,70	41,02	42,11	41,67	42,60	41,68	42,07	41,70	41,38	41,65	41,33	41,37
	s	4,34	5,05	4,83	5,71	3,41	3,72	4,67	4,52	4,74	4,77	4,68	4,24	3,87	4,32

1 Satz	§	43,37	44,27	43,17	44,11	43,57	43,38	43,61	44,11	44,69	44,61	44,38	45,41	44,28	44,85
	s	8,94	9,30	9,22	9,70	8,66	11,44	11,66	12,21	11,70	10,09	10,94	9,58	10,86	10,90

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA26: Muskeldicke beide Beine gemittelt – D₇₀

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		61,64	62,52	61,24	61,54	58,70	55,56	63,84	63,85	58,83	58,93	59,09	60,94	57,34	60,09
P11		59,82	60,69	61,17	62,59	64,11	61,33	62,77	64,36	64,72	65,08	63,69	64,80	64,04	63,89
P13		46,00	46,79	48,84	49,86	51,92	52,12	49,35	47,45	49,07	49,55	48,66	50,92	53,14	55,25
P5		47,28	47,10	47,41	48,23	48,83	47,58	48,04	48,10	48,17	47,47	47,13	47,48	46,91	46,31
P6		46,19	45,81	43,63	46,19	46,71	47,36	48,73	47,06	46,08	48,23	45,43	44,41	44,60	44,01
P9		49,53	50,53	53,97	52,55	54,77	53,35	52,81	53,72	53,32	52,91	52,09	53,57	54,61	53,07
P10		61,54	62,28	62,83	63,03	61,33	60,82	61,22	60,28	59,87	60,10	61,80	60,03	60,98	60,79
P16		51,65	51,36	51,29	53,66	52,11	50,63	50,98	51,98	54,65	53,76	55,39	55,06	53,52	54,20
P3		59,60	62,06	60,95	61,68	62,74	63,28	62,37	64,58	66,78	66,94	65,90	65,11	66,65	66,72
P4		54,49	52,14	53,24	54,44	55,21	55,26	55,59	55,93	56,21	58,46	56,50	55,84	55,75	54,48
P12		39,87	41,22	41,38	41,54	40,73	39,61	39,21	38,81	38,65	40,03	42,18	43,27	42,49	43,71
Kombiniert	§	52,51	52,95	53,27	54,12	54,29	53,36	54,08	54,19	54,21	54,68	54,35	54,68	54,55	54,77
	s	7,43	7,69	7,54	7,35	7,21	7,02	7,83	8,48	8,36	8,12	7,88	7,64	7,70	7,77
3 Satz	§	55,82	56,67	57,08	58,00	58,24	56,34	58,65	58,55	57,54	57,85	57,15	58,89	58,17	59,74
	s	8,55	8,60	7,14	7,07	6,11	4,65	8,07	9,62	7,90	7,82	7,70	7,16	5,50	4,33
HIT	§	51,24	51,42	51,82	52,73	52,75	51,95	52,35	52,23	52,42	52,49	52,37	52,11	52,12	51,68
	s	6,13	6,50	7,29	6,52	5,70	5,53	5,30	5,26	5,47	5,08	6,59	6,21	6,53	6,69
1 Satz	§	51,32	51,81	51,85	52,55	52,89	52,72	52,39	53,10	53,88	55,15	54,86	54,74	54,96	54,97
	s	10,24	10,43	9,86	10,20	11,18	12,04	11,91	13,11	14,21	13,76	11,95	10,96	12,10	11,51

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA27: Muskeldicke beide Beine gemittelt – D_{kom}

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2		47,86	47,24	48,71	48,74	47,95	44,69	50,12	47,13	46,67	48,56	48,36	48,78	47,53	48,85
P11		49,18	50,14	50,67	50,96	50,86	50,06	49,82	51,05	51,54	52,02	50,67	51,69	52,50	52,09
P13		37,17	37,84	39,85	40,84	40,58	41,89	40,95	39,42	40,58	40,21	39,73	40,06	42,86	42,92
P5		38,62	37,59	37,34	37,45	38,73	37,97	38,04	37,94	37,84	36,80	36,97	36,95	37,63	38,01
P6		38,39	37,60	36,87	37,18	39,36	39,08	39,35	38,63	38,09	38,91	38,93	38,46	38,05	38,27
P9		37,68	37,55	38,54	37,91	39,11	38,78	38,79	38,62	38,61	38,60	38,27	39,20	39,59	38,43
P10		46,07	46,95	46,58	48,21	45,99	45,85	47,55	46,78	46,21	46,68	47,30	45,90	45,94	46,56
P16		43,13	43,00	42,86	43,36	42,86	42,79	44,29	43,87	45,50	44,79	44,43	44,52	43,26	43,57
P3		50,02	50,83	50,18	50,90	50,74	51,43	51,52	52,51	53,49	52,33	52,99	53,27	52,65	52,19
P4		43,87	44,10	44,02	44,31	44,53	45,47	46,07	46,67	45,91	46,12	45,79	45,47	45,40	45,19
P12		34,21	34,47	33,48	33,96	34,21	32,47	32,16	31,86	32,81	33,91	33,16	35,36	33,51	33,98
Kombiniert	§	42,38	42,48	42,64	43,07	43,17	42,77	43,51	43,13	43,38	43,54	43,32	43,60	43,54	43,64
	s	5,45	5,76	5,88	6,04	5,36	5,55	6,13	6,33	6,32	6,23	6,30	6,05	6,09	6,03
3 Satz	§	44,73	45,07	46,41	46,84	46,46	45,55	46,96	45,87	46,26	46,93	46,25	46,84	47,63	47,95
	s	6,59	6,43	5,76	5,32	5,30	4,15	5,21	5,91	5,49	6,07	5,77	6,05	4,82	4,65
HIT	§	40,78	40,54	40,44	40,82	41,21	40,89	41,60	41,16	41,25	41,15	41,18	41,00	40,89	40,97
	s	3,66	4,28	4,17	4,85	3,14	3,33	4,13	3,94	4,22	4,31	4,45	3,95	3,59	3,89
1 Satz	§	42,70	43,13	42,56	43,06	43,16	43,12	43,25	43,68	44,07	44,12	43,98	44,70	43,85	43,79
	s	7,97	8,22	8,44	8,54	8,35	9,70	9,98	10,64	10,46	9,37	10,04	8,98	9,67	9,19

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Prozentuale Muskeldickenveränderungen aller Probanden

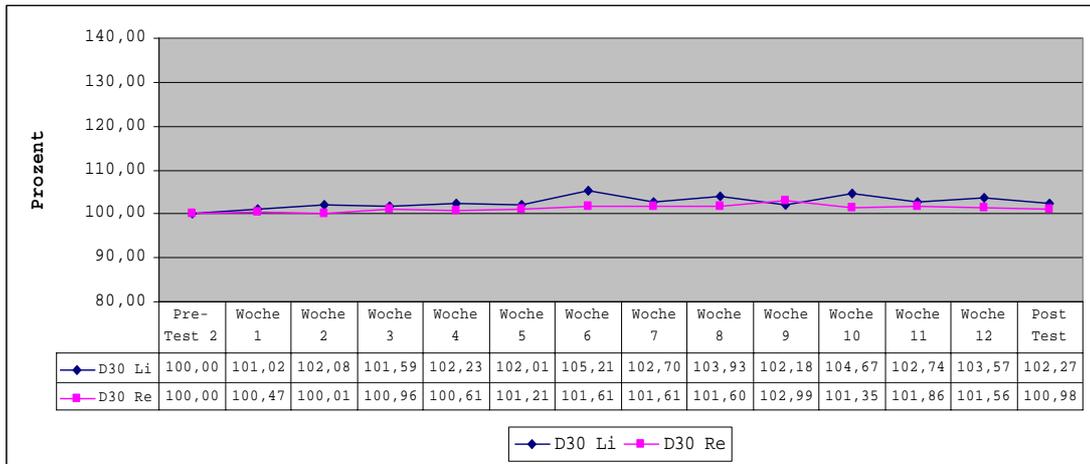


Abbildung A31: Prozentuale Muskeldickenveränderungen D₃₀ – linkes und rechtes Bein

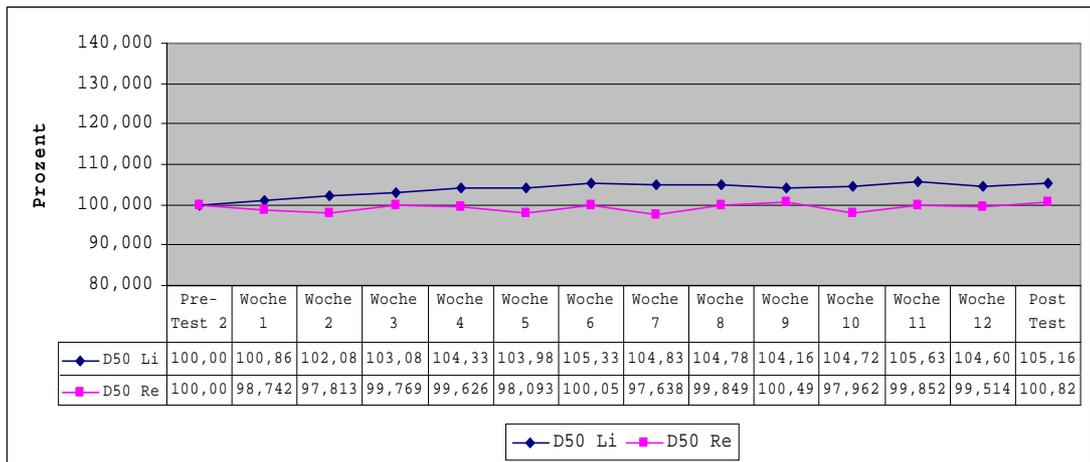


Abbildung A32: Prozentuale Muskeldickenveränderungen D₅₀ – linkes und rechtes Bein

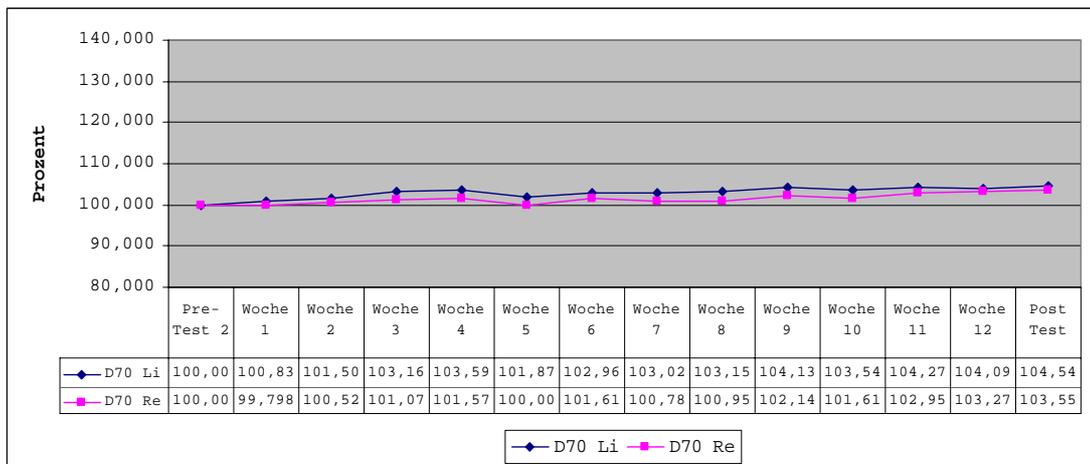


Abbildung A33: Prozentuale Muskeldickenveränderungen D₇₀ – linkes und rechtes Bein

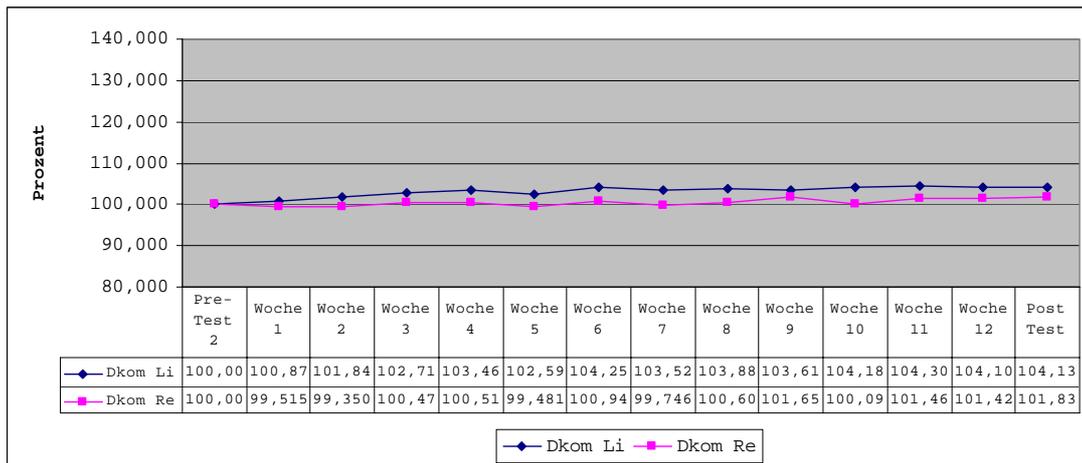


Abbildung A34: Prozentuale Muskeldickenveränderungen D_{kom} – linkes und rechtes Bein

Prozentuale Muskeldickenveränderung der Dreisatz-Trainingsgruppe Proband P2

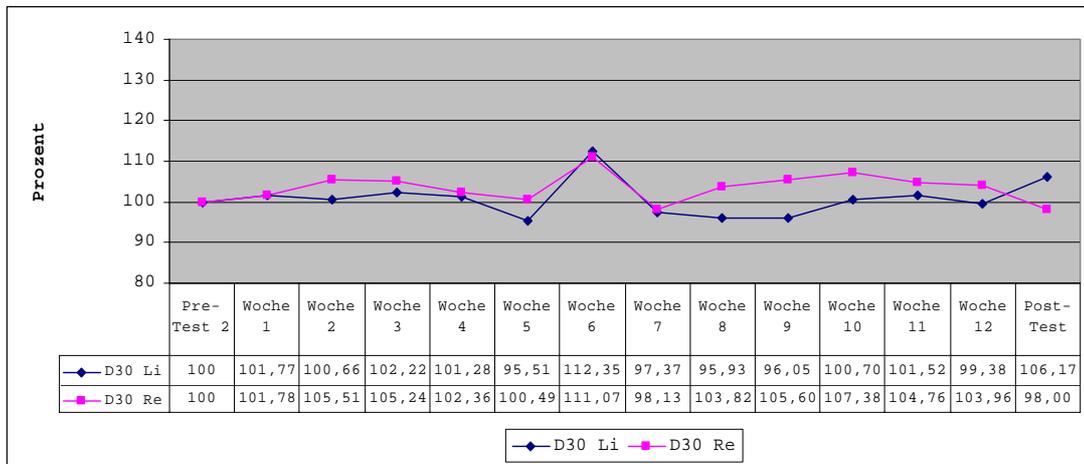


Abbildung A35: Muskeldickenveränderungen P2 – D₃₀ (3 Satz)

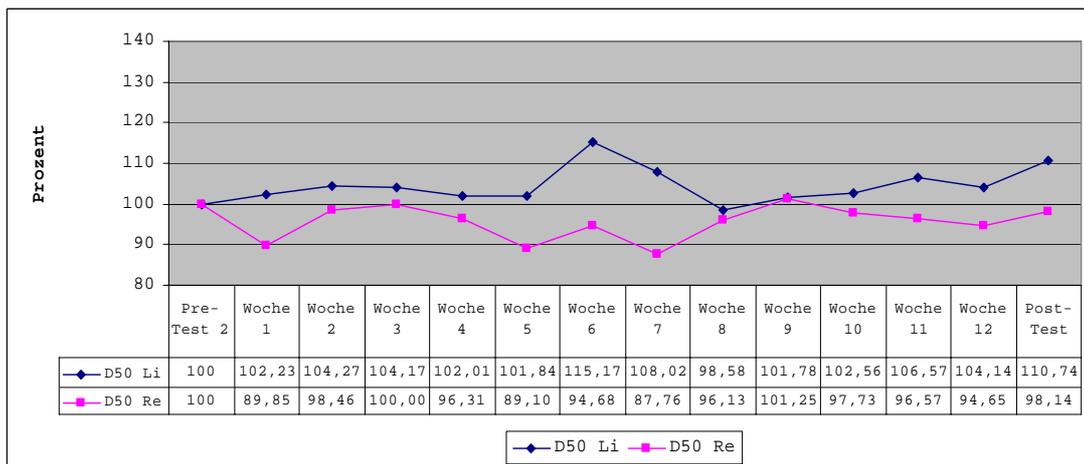


Abbildung A36: Muskeldickenveränderungen P2 – D₅₀ (3 Satz)



Abbildung A37: Muskeldickenveränderungen P2 – D₇₀ (3 Satz)

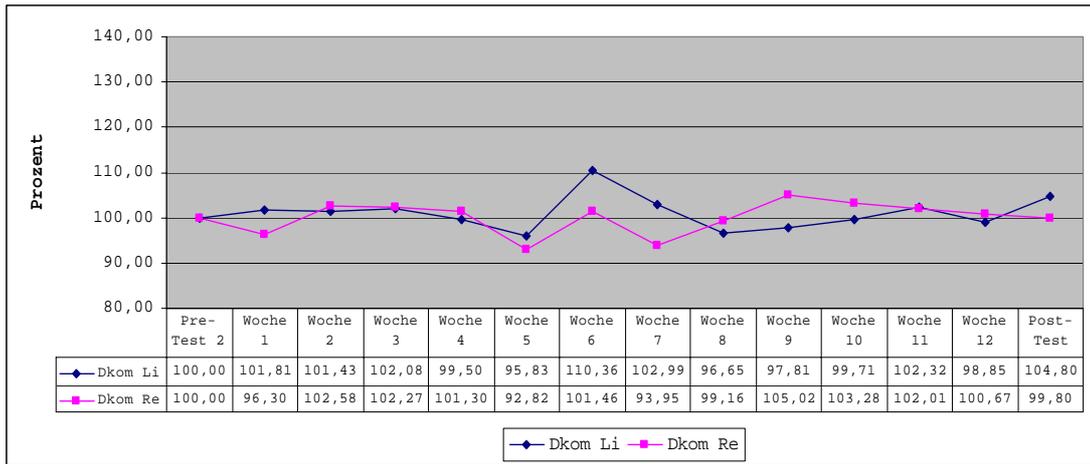


Abbildung A38: Muskeldickenveränderungen P2 – D_{kom} (3 Satz)

Proband P11

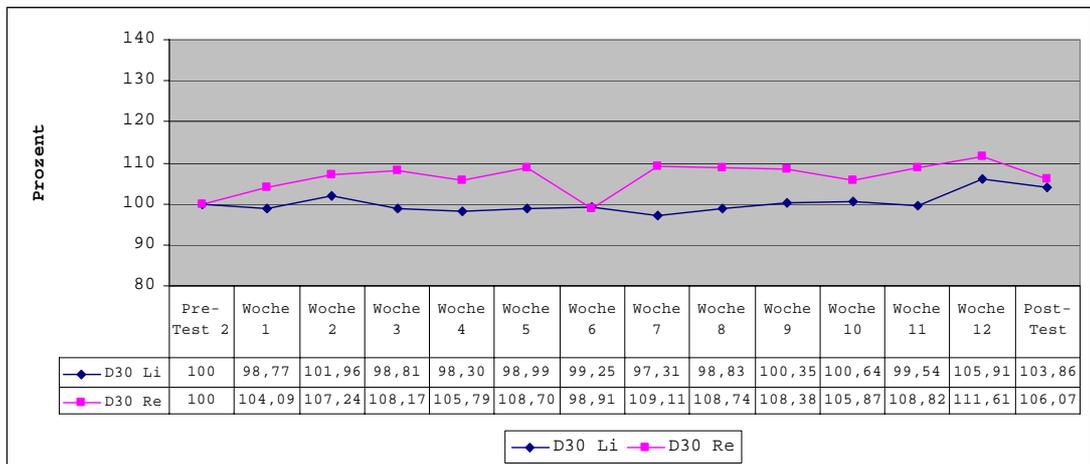


Abbildung A39: Muskeldickenveränderungen P11 – D₃₀ (3 Satz)

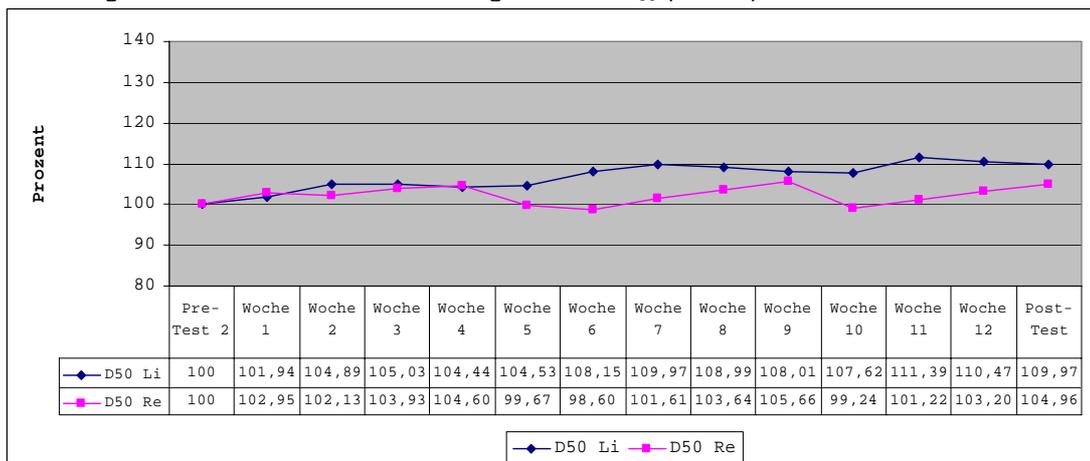


Abbildung A40: Muskeldickenveränderungen P11 – D₅₀ (3 Satz)

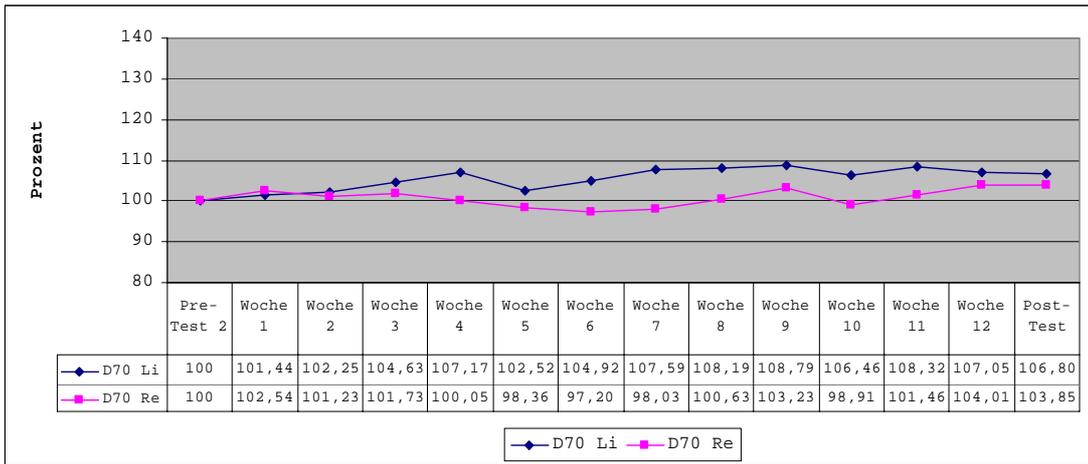


Abbildung A41: Muskeldickenveränderungen P11 – D₇₀ (3 Satz)

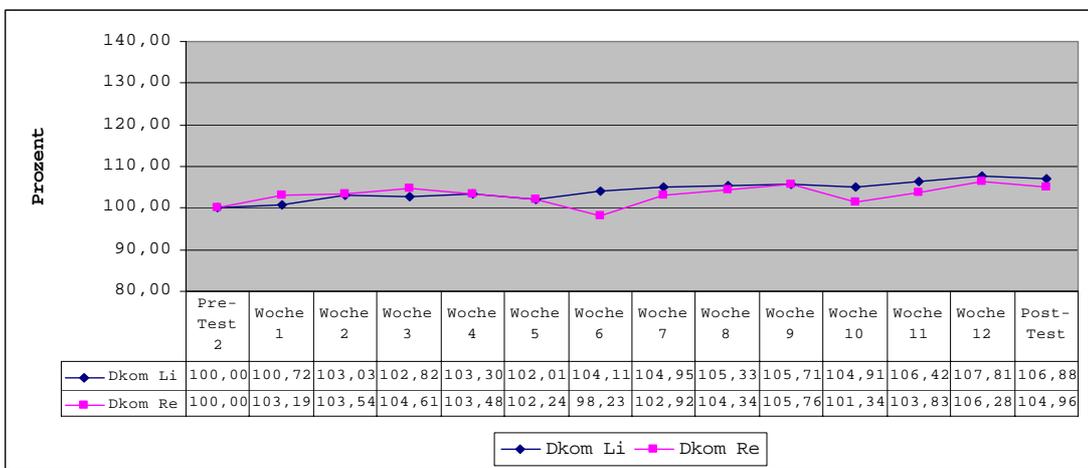


Abbildung A42: Muskeldickenveränderungen P11 – D_{kom} (3 Satz)

Proband P13

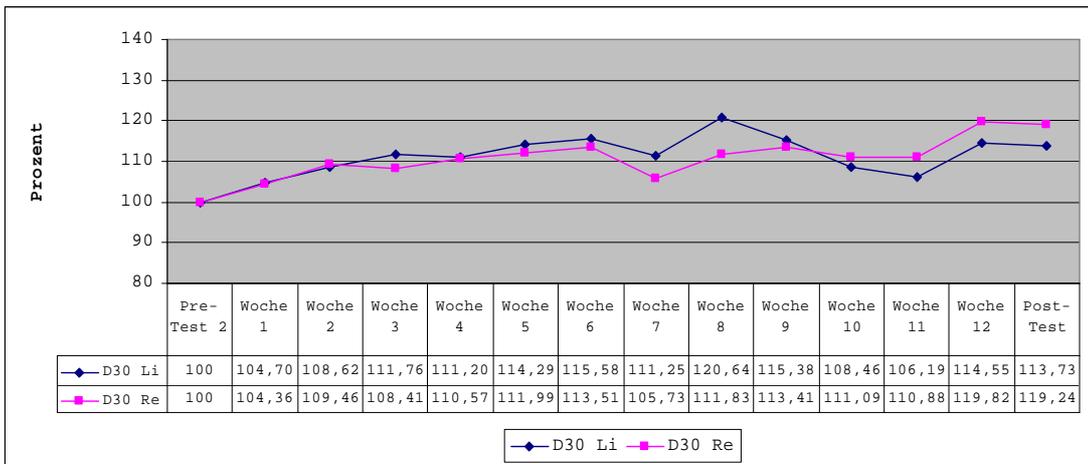


Abbildung A43: Muskeldickenveränderungen P13 – D₃₀ (3 Satz)

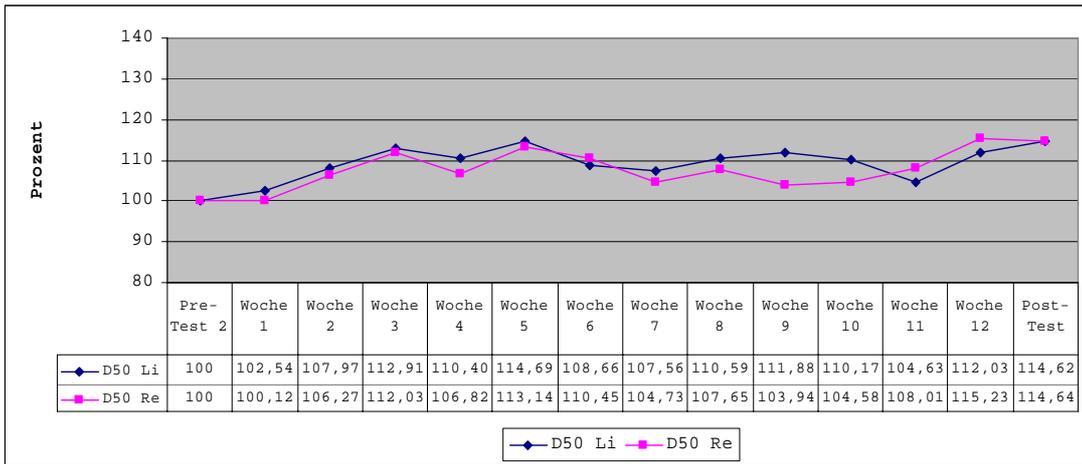


Abbildung A44: Muskeldickenveränderungen P13 – D₅₀ (3 Satz)

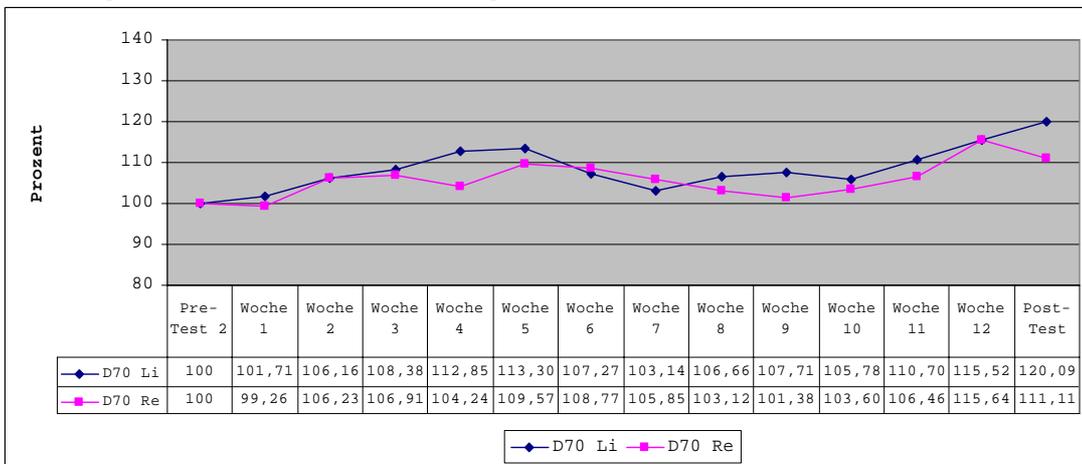


Abbildung A45: Muskeldickenveränderungen P13 – D₇₀ (3 Satz)

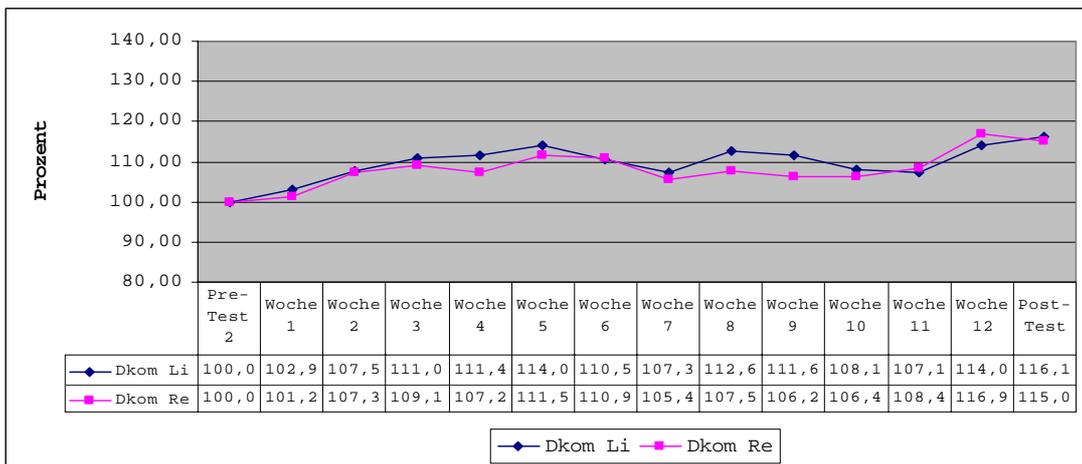


Abbildung A46: Muskeldickenveränderungen P13 – D_{kom} (3 Satz)

Prozentuale Muskeldickenveränderungen der HIT-Trainingsgruppe

Proband P5

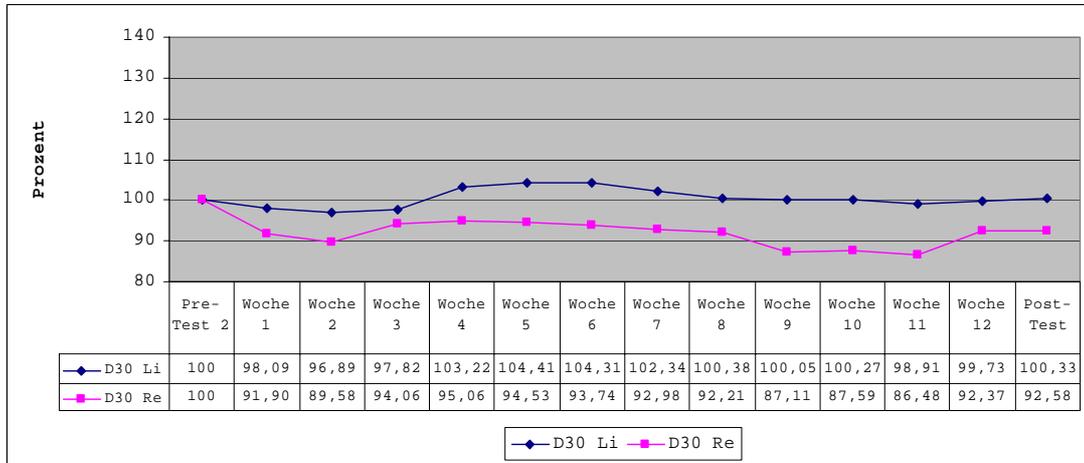


Abbildung A47: Muskeldickenveränderungen P5 – D₃₀ (HIT)

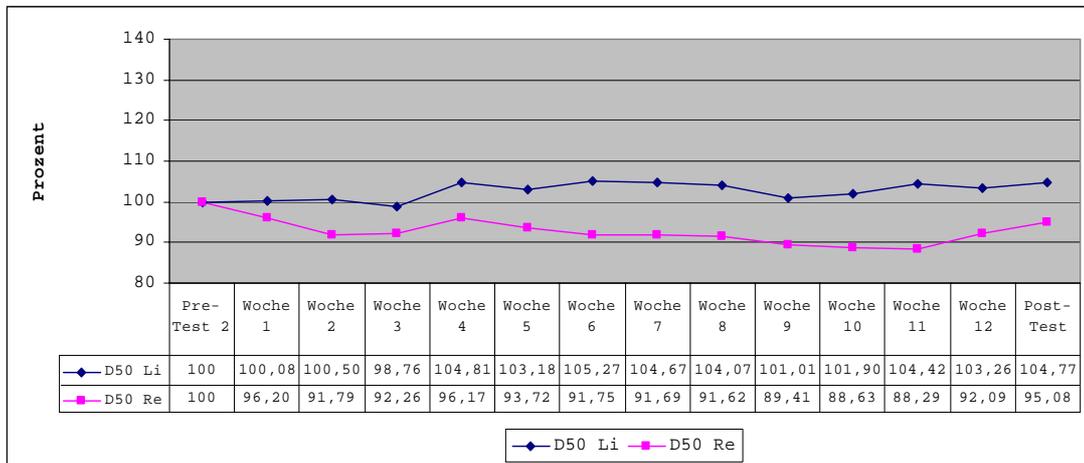


Abbildung A48: Muskeldickenveränderungen P5 – D₅₀ (HIT)

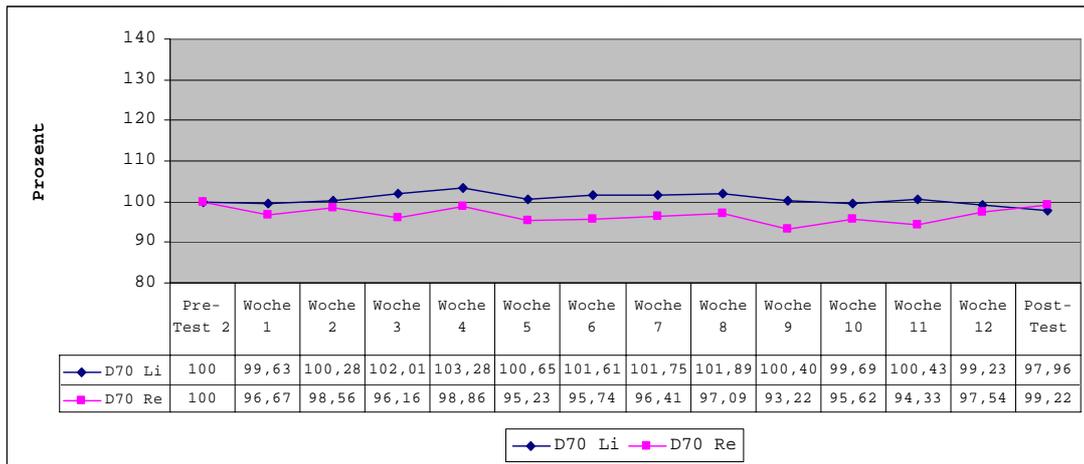


Abbildung A49: Muskeldickenveränderungen P5 – D₇₀ (HIT)

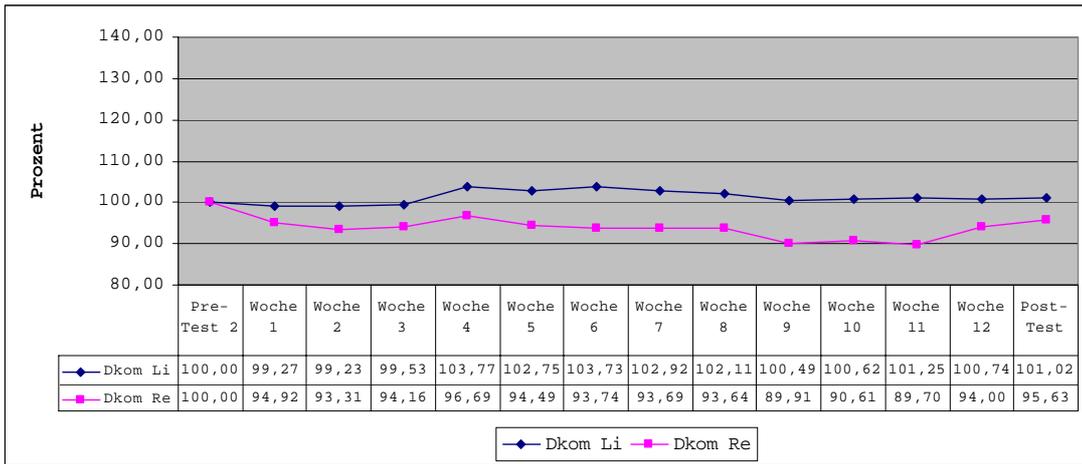


Abbildung A50: Muskeldickenveränderungen P5 – D_{kom} (HIT)

Proband P6

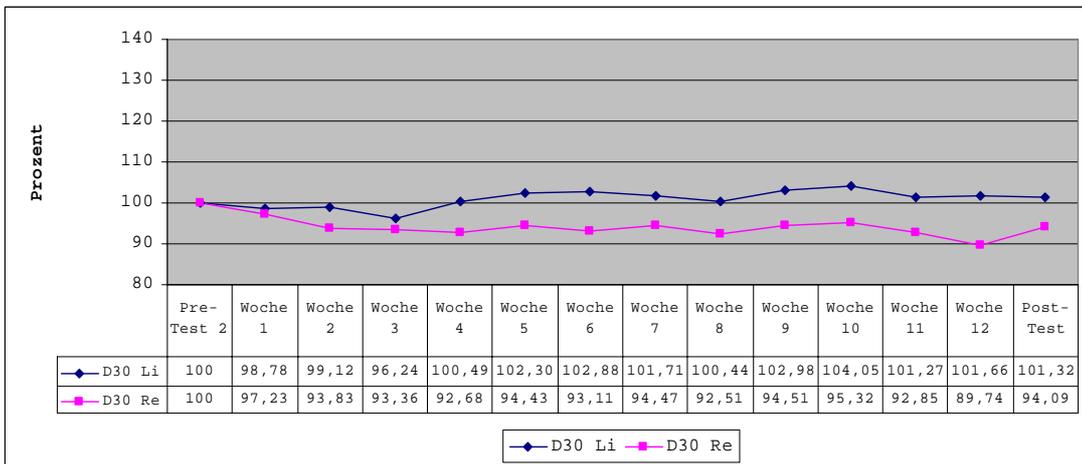


Abbildung A51: Muskeldickenveränderungen P6 – D₃₀ (HIT)

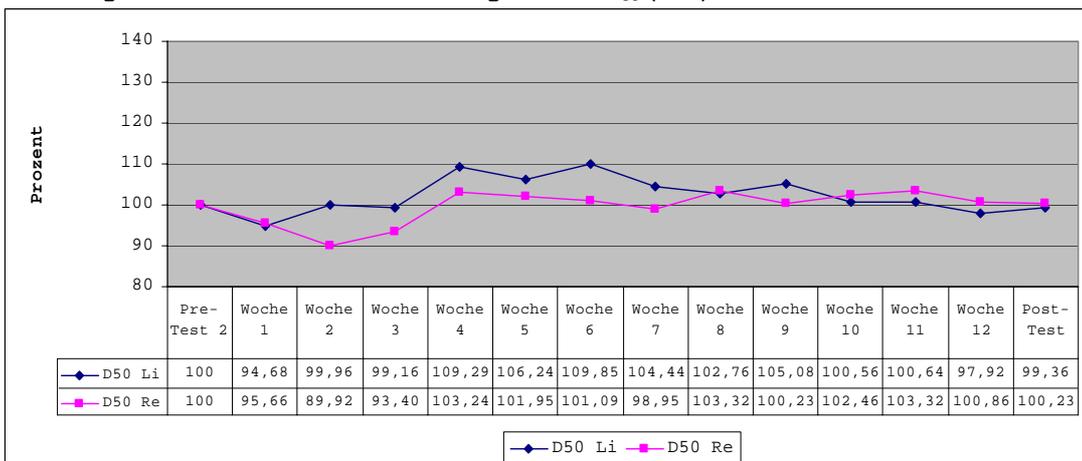


Abbildung A52: Muskeldickenveränderungen P6 – D₅₀ (HIT)

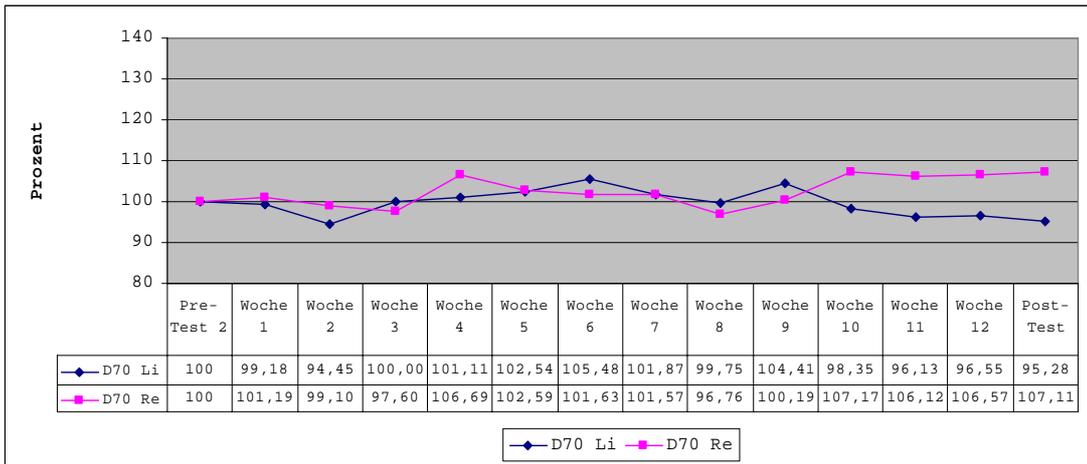


Abbildung A53: Muskeldickenveränderungen P6 – D₇₀ (HIT)

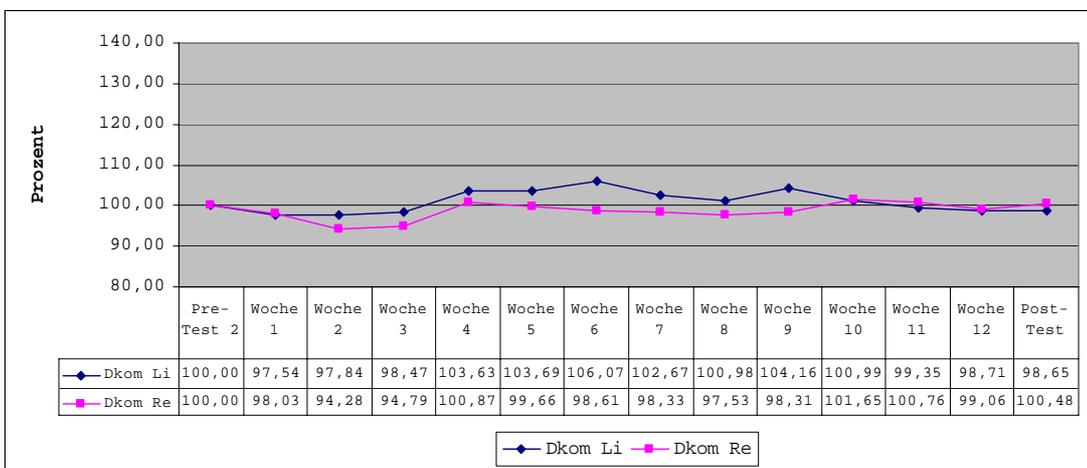


Abbildung A54: Muskeldickenveränderungen P6 – D_{kom} (HIT)

Proband P9

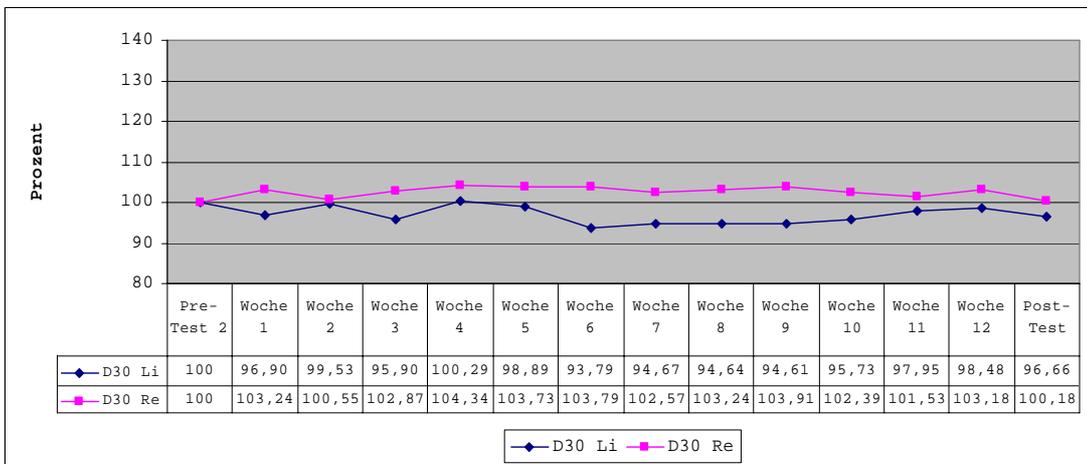


Abbildung A55: Muskeldickenveränderungen P9 – D₃₀ (HIT)

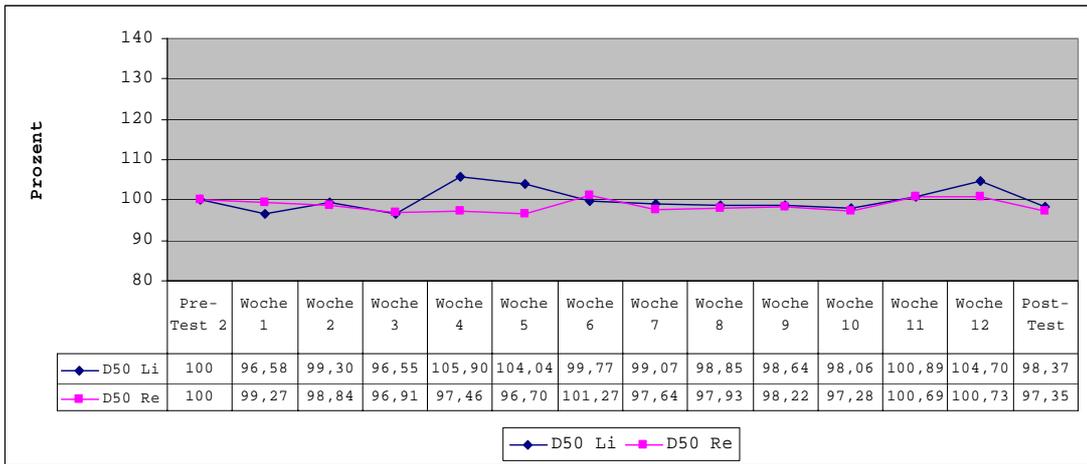


Abbildung A56: Muskeldickenveränderungen P9 – D₅₀ (HIT)

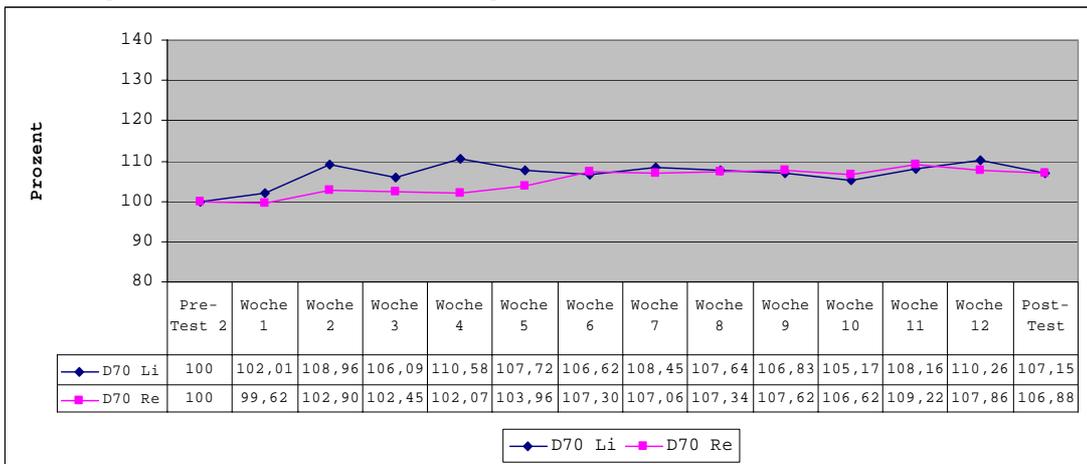


Abbildung A57: Muskeldickenveränderungen P9 – D₇₀ (HIT)

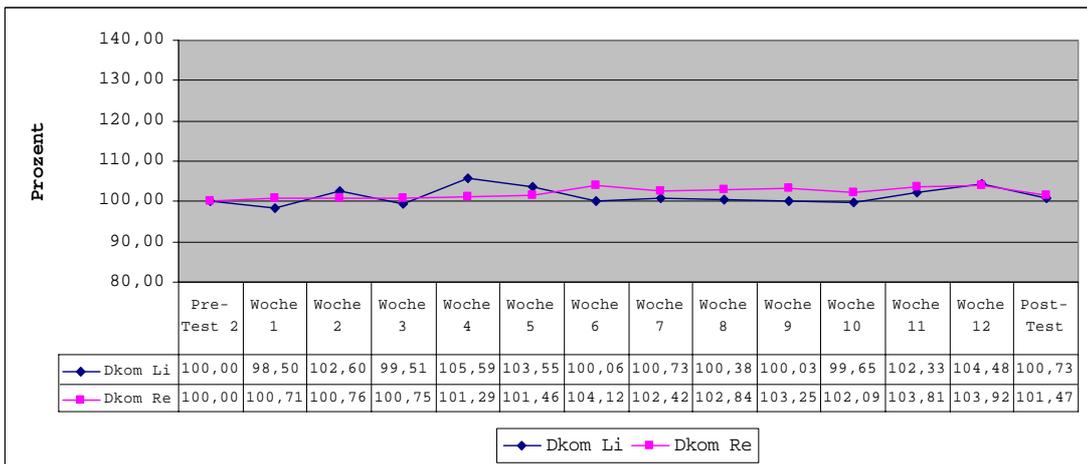


Abbildung A58: Muskeldickenveränderungen P9 – D_{kom} (HIT)

Proband P10

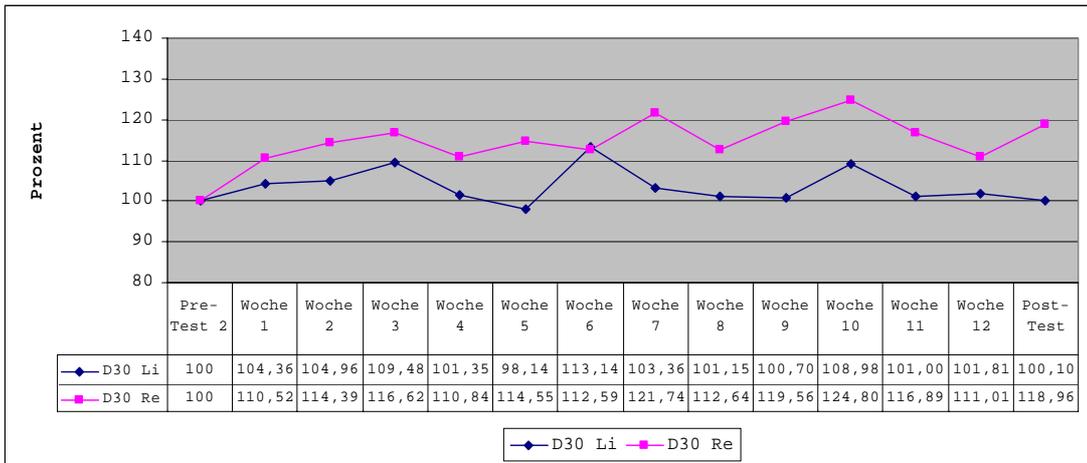


Abbildung A59: Muskeldickenveränderungen P10 – D₃₀ (HIT)

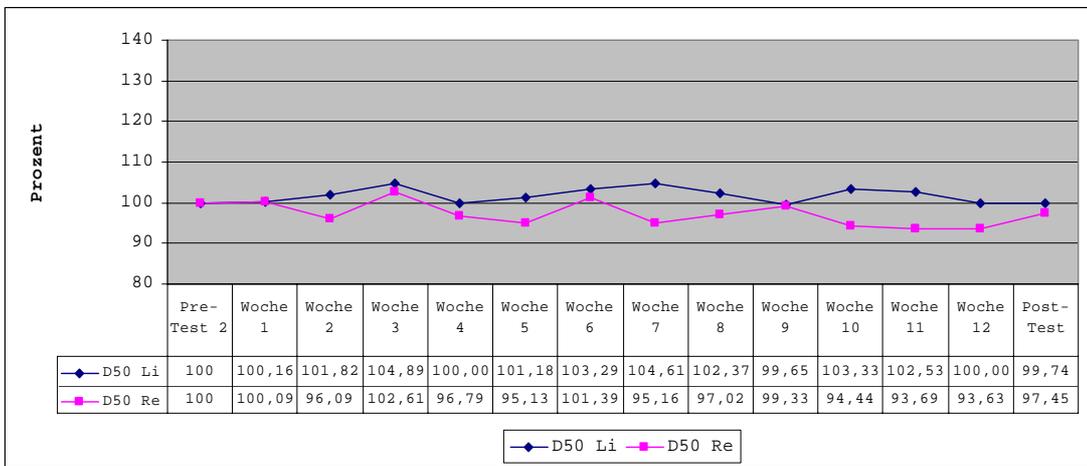


Abbildung A60: Muskeldickenveränderungen P10 – D₅₀ (HIT)

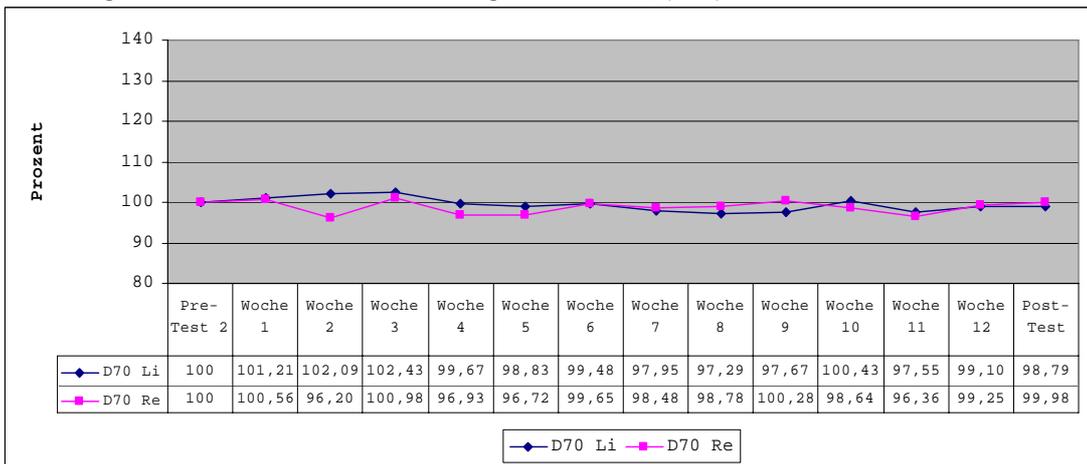


Abbildung A61: Muskeldickenveränderungen P10 – D₇₀ (HIT)

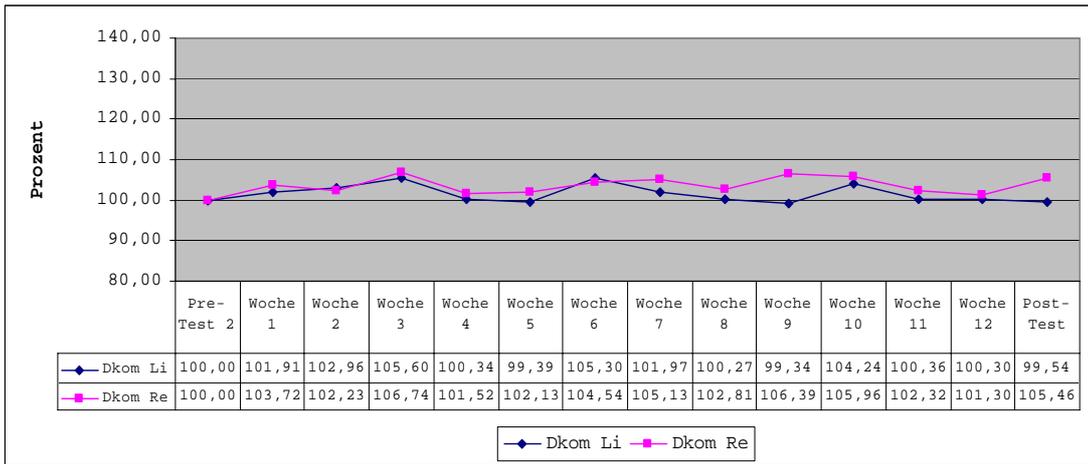


Abbildung A62: Muskeldickenveränderungen P10 – D_{kom} (HIT)

Proband P16

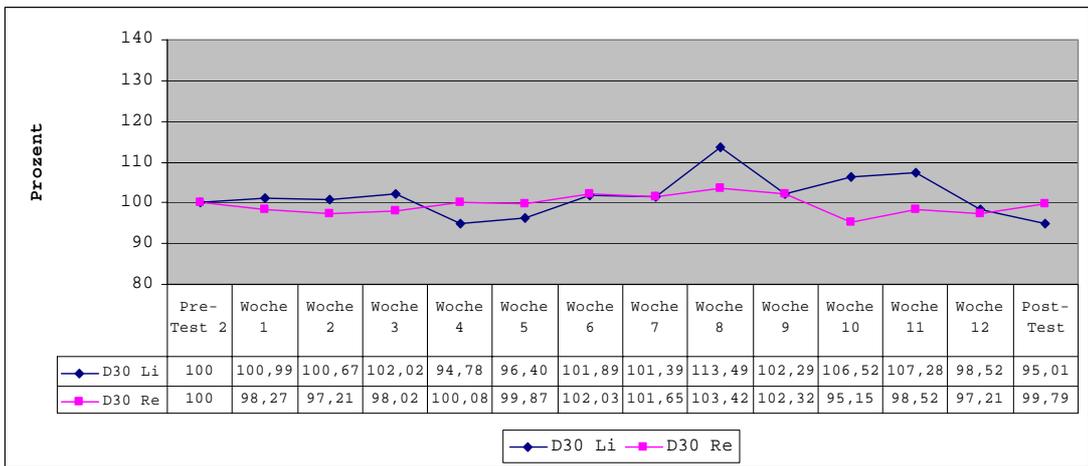


Abbildung A63: Muskeldickenveränderungen P16 – D₃₀ (HIT)



Abbildung A64: Muskeldickenveränderungen P16 – D₅₀ (HIT)

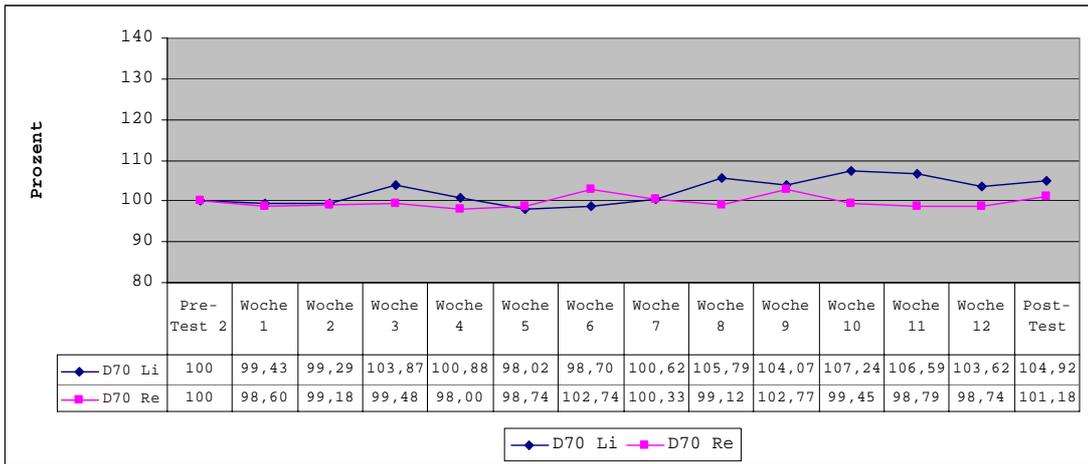


Abbildung A65: Muskeldickenveränderungen P16 – D₇₀ (HIT)

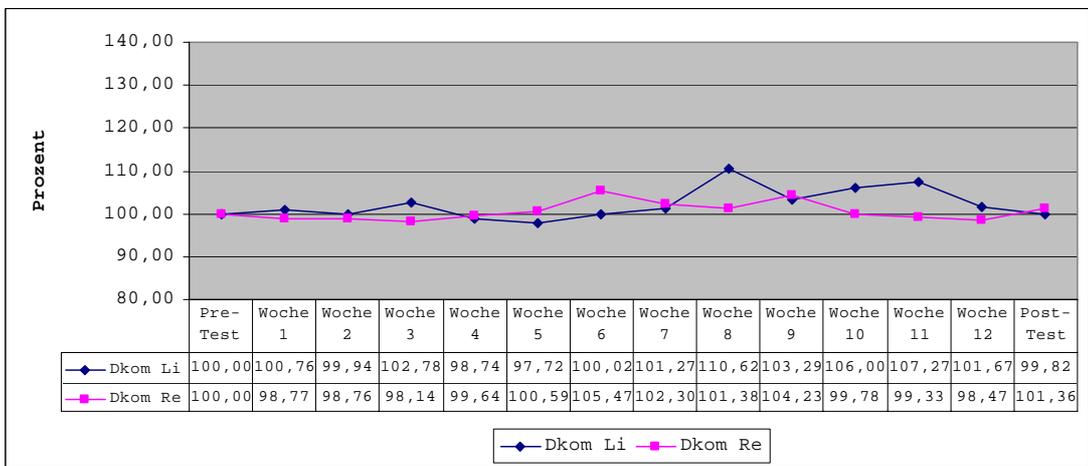


Abbildung A66: Muskeldickenveränderungen P16 – D_{kom} (HIT)

Prozentuale Muskeldickenveränderungen der Einsatz-Trainingsgruppe

Proband P3

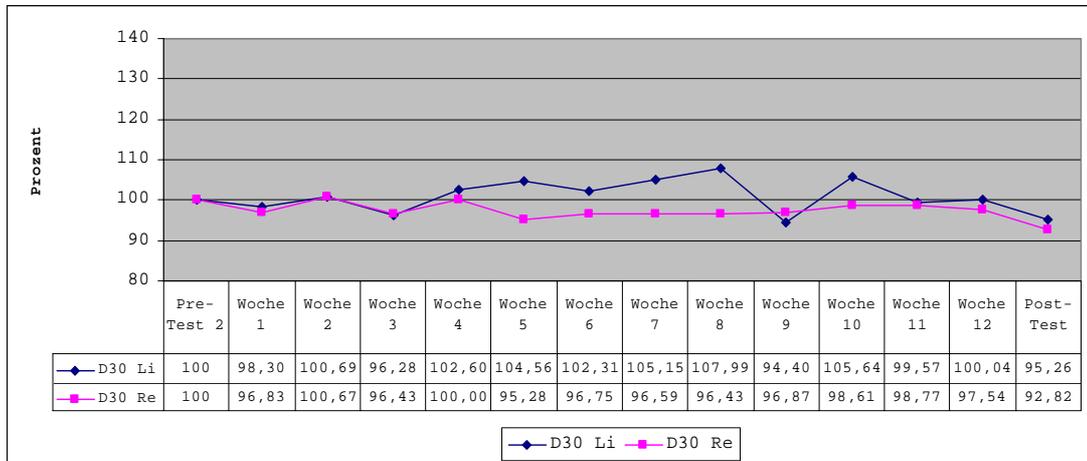


Abbildung A67: Muskeldickenveränderungen P3 – D₃₀ (1 Satz)

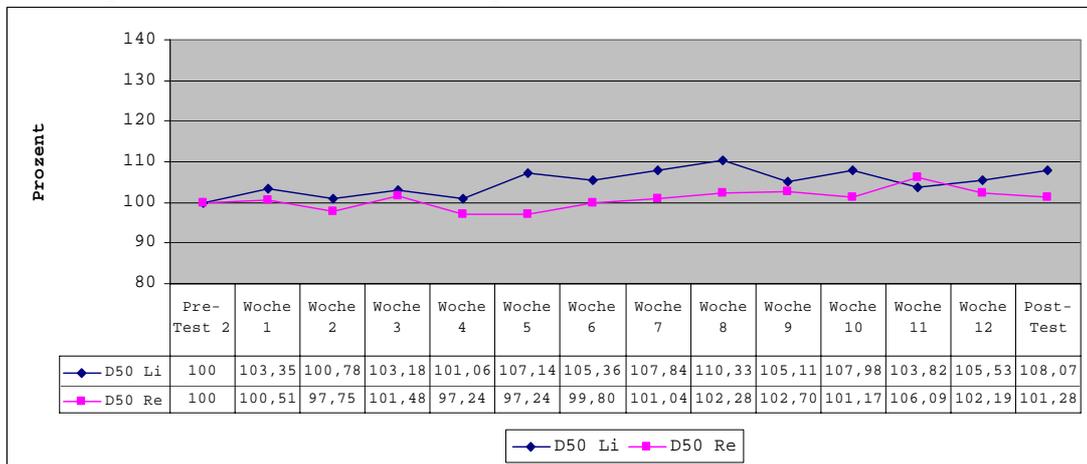


Abbildung A68: Muskeldickenveränderung P3 – D₅₀ (1 Satz)

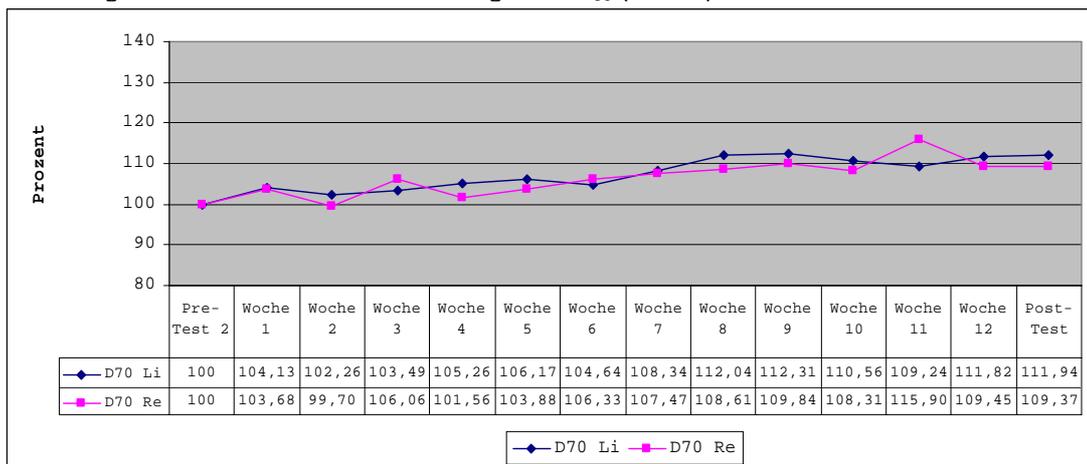


Abbildung A69: Muskeldickenveränderung P3 D₇₀ (1 Satz)

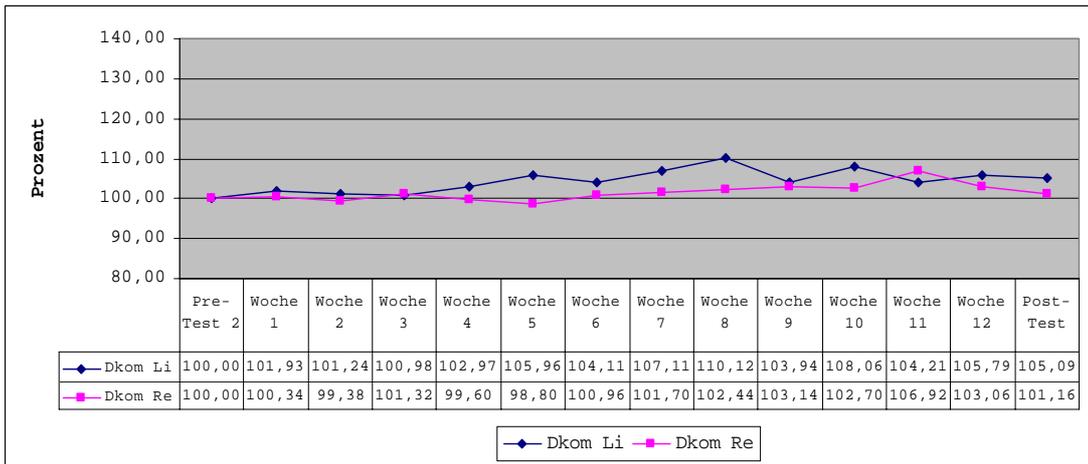


Abbildung A70: Muskeldickenveränderungen P3 – D_{kom} (1 Satz)

Proband P4

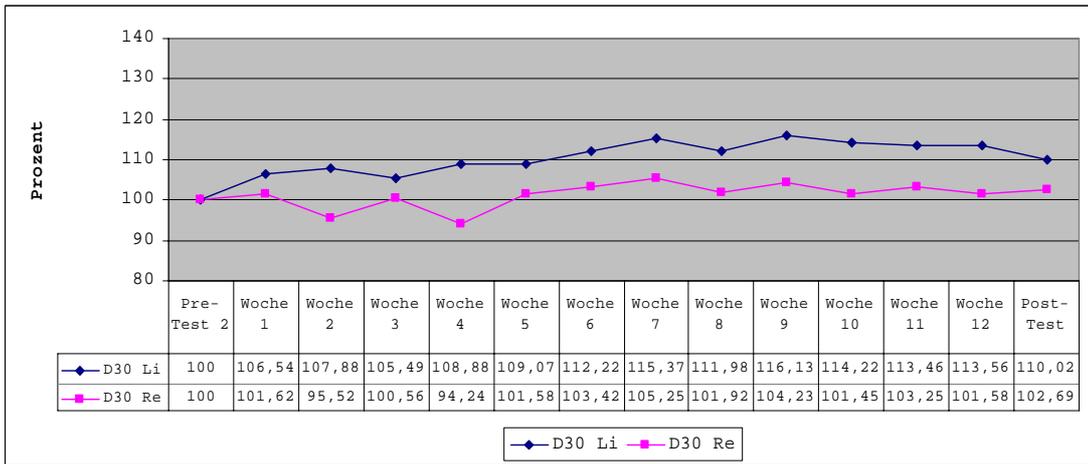


Abbildung A71: Muskeldickenveränderungen P4 – D₃₀ (1 Satz)

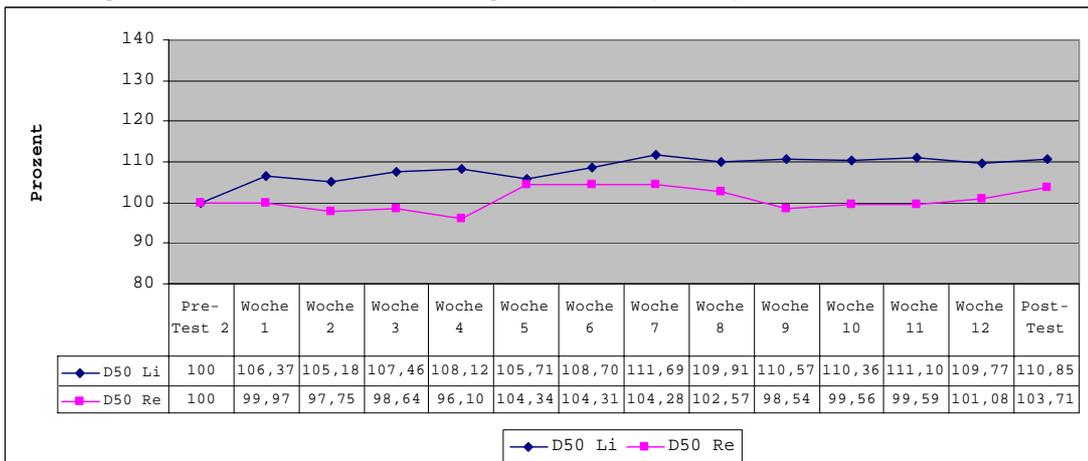


Abbildung A72: Muskeldickenveränderung P4 – D₅₀ (1 Satz)

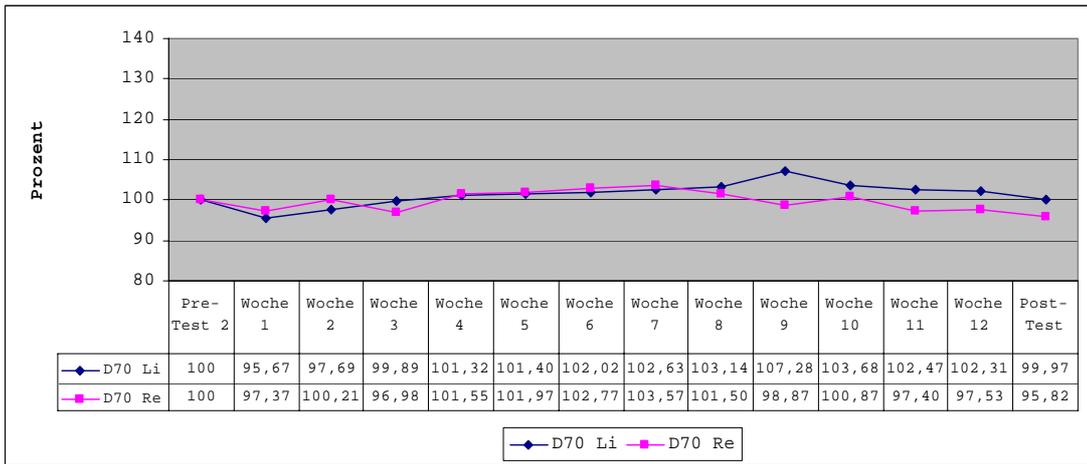


Abbildung A73: Muskeldickenveränderungen P4 – D₇₀ (1 Satz)

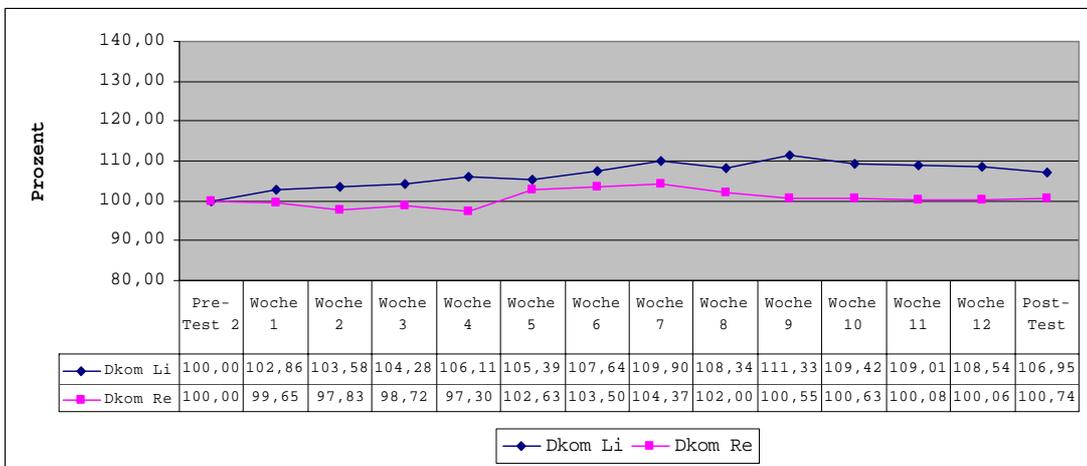


Abbildung A74: Muskeldickenveränderungen P4 – D_{kom} (1 Satz)

Proband P12

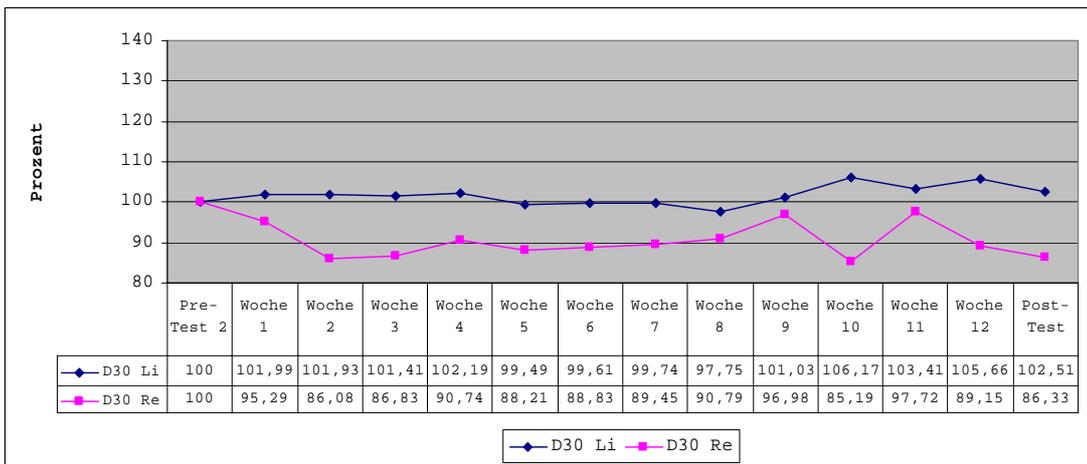


Abbildung A75: Muskeldickenveränderungen P12 – D₃₀ (1 Satz)

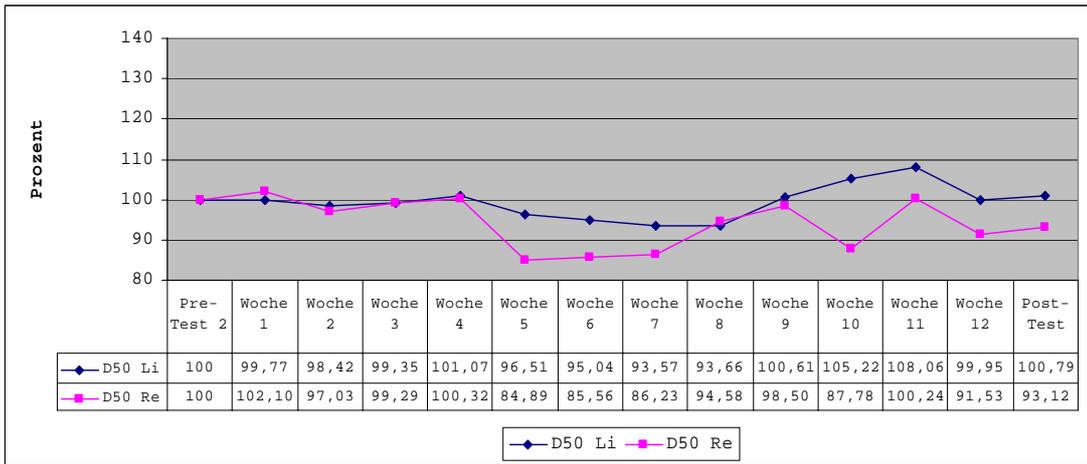


Abbildung A76: Muskeldickenveränderungen P12 – D₅₀ (1 Satz)

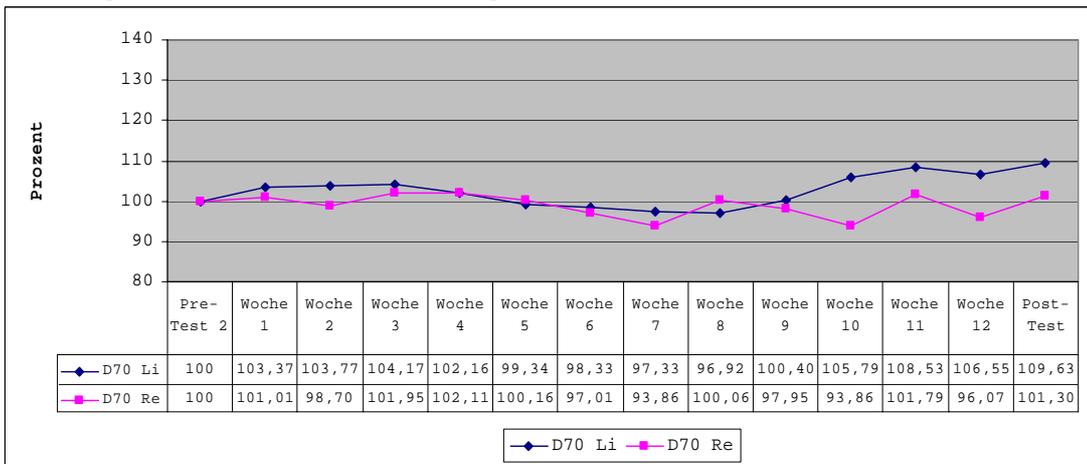


Abbildung A77: Muskeldickenveränderungen P12 – D₇₀ (1 Satz)

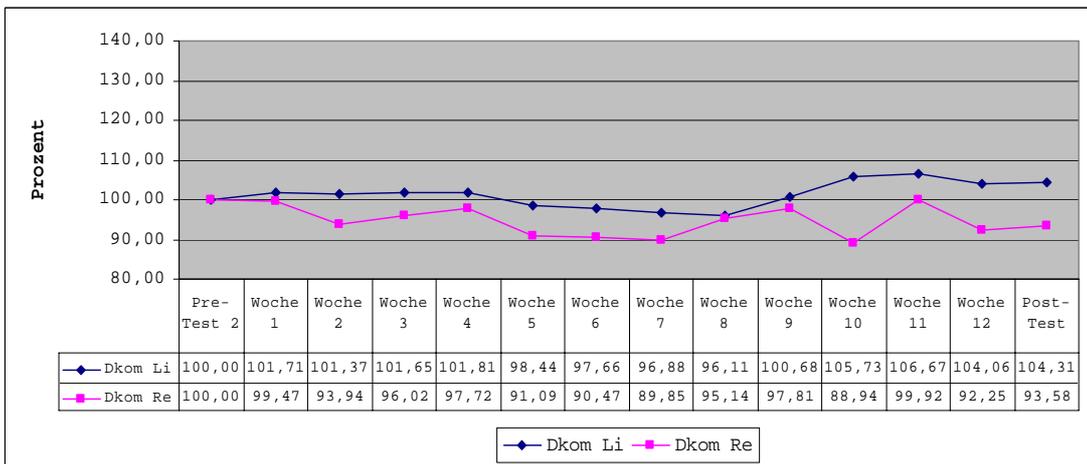


Abbildung A78: Muskeldickenveränderungen P12 – D_{kom} (1 Satz)

Tabelle TA28: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Muskeldickenveränderung – D_{30} (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	9	0,628
P2	Dreisatz	Re	6	0,044*
P11	Dreisatz	Li	9	0,628
P11	Dreisatz	Re	8	0,363
P13	Dreisatz	Li	8	0,363
P13	Dreisatz	Re	8	0,363
P5	HIT	Li	6	0,044*
P5	HIT	Re	6	0,044*
P6	HIT	Li	9	0,628
P6	HIT	Re	8	0,363
P9	HIT	Li	9	0,628
P9	HIT	Re	10	0,846
P10	HIT	Li	8	0,363
P10	HIT	Re	9	0,628
P16	HIT	Li	10	0,846
P16	HIT	Re	10	0,846
P3	Einsatz	Li	11	0,961
P3	Einsatz	Re	9	0,628
P4	Einsatz	Li	8	0,363
P4	Einsatz	Re	11	0,961
P12	Einsatz	Li	10	0,846
P12	Einsatz	Re	7	0,153

* Signifikant ($p < 0,05$)** Hoch signifikant ($p < 0,01$)*** Höchst signifikant ($p < 0,001$)

Tabelle TA29: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Muskeldickenveränderung – D_{50} (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	7	0,153
P2	Dreisatz	Re	8	0,363
P11	Dreisatz	Li	6	0,044*
P11	Dreisatz	Re	7	0,153
P13	Dreisatz	Li	7	0,153
P13	Dreisatz	Re	8	0,363
P5	HIT	Li	9	0,628
P5	HIT	Re	4	0,000***
P6	HIT	Li	12	0,995
P6	HIT	Re	7	0,153
P9	HIT	Li	7	0,153
P9	HIT	Re	9	0,628
P10	HIT	Li	6	0,044*
P10	HIT	Re	9	0,628
P16	HIT	Li	8	0,363
P16	HIT	Re	8	0,363
P3	Einsatz	Li	11	0,961
P3	Einsatz	Re	8	0,363
P4	Einsatz	Li	11	0,961
P4	Einsatz	Re	6	0,044*
P12	Einsatz	Li	6	0,044*
P12	Einsatz	Re	9	0,628

* Signifikant ($p < 0,05$)** Hoch signifikant ($p < 0,01$)*** Höchst signifikant ($p < 0,001$)

Tabelle TA30: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Muskeldickenveränderung – D_{70} (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	9	0,628
P2	Dreisatz	Re	9	0,628
P11	Dreisatz	Li	6	0,044*
P11	Dreisatz	Re	8	0,363
P13	Dreisatz	Li	5	0,008**
P13	Dreisatz	Re	7	0,153
P5	HIT	Li	7	0,153
P5	HIT	Re	10	0,846
P6	HIT	Li	7	0,153
P6	HIT	Re	7	0,153
P9	HIT	Li	8	0,363
P9	HIT	Re	9	0,628
P10	HIT	Li	8	0,363
P10	HIT	Re	9	0,628
P16	HIT	Li	8	0,363
P16	HIT	Re	8	0,363
P3	Einsatz	Li	7	0,153
P3	Einsatz	Re	8	0,363
P4	Einsatz	Li	3	0,000***
P4	Einsatz	Re	9	0,628
P12	Einsatz	Li	5	0,008**
P12	Einsatz	Re	9	0,628

* Signifikant ($p < 0,05$)** Hoch signifikant ($p < 0,01$)*** Höchst signifikant ($p < 0,001$)

Tabelle TA31: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Muskeldickenveränderung – D_{kom} (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
P2	Dreisatz	Li	9	0,628
P2	Dreisatz	Re	7	0,153
P11	Dreisatz	Li	6	0,044*
P11	Dreisatz	Re	7	0,153
P13	Dreisatz	Li	5	0,008**
P13	Dreisatz	Re	8	0,363
P5	HIT	Li	8	0,363
P5	HIT	Re	8	0,363
P6	HIT	Li	5	0,008**
P6	HIT	Re	6	0,044*
P9	HIT	Li	9	0,628
P9	HIT	Re	8	0,363
P10	HIT	Li	8	0,363
P10	HIT	Re	9	0,628
P16	HIT	Li	8	0,363
P16	HIT	Re	8	0,363
P3	Einsatz	Li	10	0,846
P3	Einsatz	Re	8	0,363
P4	Einsatz	Li	6	0,044*
P4	Einsatz	Re	8	0,363
P12	Einsatz	Li	7	0,153
P12	Einsatz	Re	8	0,363

* Signifikant ($p < 0,05$)** Hoch signifikant ($p < 0,01$)*** Höchst signifikant ($p < 0,001$)

Tabelle TA32: Überprüfung individueller Trends der Muskeldickenveränderung – D₃₀ (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	2	3	0	0,154	0,881
P2	Dreisatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P11	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P11	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P13	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P5	HIT	Re	0	5	0	2,006	0,044 ⁺
P6	HIT	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P6	HIT	Re	1	4	0	1,080	0,280
P9	HIT	Li	1	4	0	1,080	0,280
P9	HIT	Re	3	2	0	0,154	0,881
P10	HIT	Li	2	3	0	0,154	0,881
P10	HIT	Re	4	1	0	1,080	0,280
P16	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P16	HIT	Re	2	3	0	0,154	0,881
P3	Einsatz	Li	2	3	0	0,154	0,881
P3	Einsatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P4	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P12	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Re	2	3	0	0,154	0,881

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

⁺ signifikant negativer Trend (p<0,05)

Tabelle TA33: Überprüfung individueller Trends der Muskeldickenveränderung – D₅₀ (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P2	Dreisatz	Re	3	2	0	0,154	0,881
P11	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P11	Dreisatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P13	Dreisatz	Li	3	2	0	0,154	0,881
P13	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P5	HIT	Re	0	5	0	2,006	0,044 ⁺
P6	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P6	HIT	Re	4	1	0	1,080	0,280
P9	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P9	HIT	Re	2	3	0	0,154	0,881
P10	HIT	Li	2	3	0	0,154	0,881
P10	HIT	Re	1	4	0	1,080	0,280
P16	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P16	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Re	3	2	0	0,154	0,881
P12	Einsatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P12	Einsatz	Re	1	4	0	1,080	0,280

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

⁺ signifikant negativer Trend (p<0,05)

Tabelle TA34: Überprüfung individueller Trends der Muskeldickenveränderung – D₇₀ (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	1	4	0	1,080	0,280
P2	Dreisatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P11	Dreisatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P11	Dreisatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P13	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P5	HIT	Re	2	3	0	0,154	0,881
P6	HIT	Li	2	3	0	0,154	0,881
P6	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P9	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P9	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P10	HIT	Li	0	5	0	2,006	0,044 ⁺
P10	HIT	Re	3	2	0	0,154	0,881
P16	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P16	HIT	Re	3	2	0	0,154	0,881
P3	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Li	4	1	0	1,080	0,280
P4	Einsatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P12	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Re	1	4	0	1,080	0,280

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

⁺ signifikant negativer Trend (p<0,05)

Tabelle TA35: Überprüfung individueller Trends der Muskeldickenveränderung – D_{kom} (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
P2	Dreisatz	Li	2	3	0	0,154	0,881
P2	Dreisatz	Re	2	3	0	0,154	0,881
P11	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P11	Dreisatz	Re	4	1	0	1,080	0,280
P13	Dreisatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P13	Dreisatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P5	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P5	HIT	Re	1	4	0	1,080	0,280
P6	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P6	HIT	Re	3	2	0	0,154	0,881
P9	HIT	Li	3	2	0	0,154	0,881
P9	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P10	HIT	Li	1	4	0	1,080	0,280
P10	HIT	Re	2	3	0	0,154	0,881
P16	HIT	Li	4	1	0	1,080	0,280
P16	HIT	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P3	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P4	Einsatz	Re	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Li	5	0	0	2,006	0,044*
P12	Einsatz	Re	1	4	0	1,080	0,280

* signifikant positiver Trend (p<0,05)

+ signifikant negativer Trend (p<0,05)

Anhang C4 – Körpergewicht und prozentualer Körperfettanteil

Tabelle TA36: Körpergewicht

	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	83,60	84,10	83,80	84,20	84,60	85,20	85,50	85,10	84,70	84,00	84,20	82,80	84,30	83,20
P11	84,10	83,10	84,30	83,50	83,70	85,00	84,00	84,10	84,85	85,60	85,00	86,00	84,60	85,30
P13	63,20	62,90	63,10	64,00	63,30	63,80	63,70	63,10	64,50	64,00	64,00	63,90	65,10	64,60
P5	68,60	68,90	69,70	68,80	68,50	68,70	68,40	68,65	68,90	68,00	68,70	68,30	68,80	69,70
P6	67,90	67,60	67,30	67,50	67,30	68,10	68,50	68,50	67,00	67,70	66,70	66,90	66,80	66,70
P9	72,40	72,50	73,90	73,80	73,70	73,90	73,20	73,50	73,80	73,40	74,10	74,10	73,30	74,10
P10	91,30	91,10	89,40	89,90	89,40	90,10	91,30	90,70	89,90	90,70	90,50	91,40	90,50	91,70
P16	64,70	64,40	64,60	64,70	64,60	64,60	65,10	66,00	65,20	65,10	64,20	64,80	64,20	64,80
P3	71,70	71,70	72,40	72,40	70,80	71,70	72,60	72,75	72,90	73,10	73,30	72,60	70,90	71,60
P4	64,60	64,20	64,30	64,60	64,50	65,20	65,40	65,60	66,00	65,00	65,30	64,70	63,20	64,60
P12	53,10	53,10	52,80	53,80	52,70	52,70	52,90	53,10	54,30	52,80	53,10	54,50	54,50	54,40

Kombiniert	s	71,38	71,24	71,42	71,56	71,19	71,73	71,87	71,92	72,00	71,76	71,74	71,82	71,47	71,88
	s	10,56	10,55	10,40	10,20	10,42	10,64	10,66	10,48	10,17	10,64	10,58	10,49	10,37	10,95

3 Satz	s	76,97	76,70	77,07	77,23	77,20	78,00	77,73	77,43	78,02	77,87	77,73	77,57	78,00	77,70
	s	11,92	11,96	12,10	11,47	12,05	12,30	12,18	12,42	11,71	12,04	11,90	11,94	11,17	11,39

HIT	s	72,98	72,90	72,98	72,94	72,70	73,08	73,30	73,47	72,96	72,98	72,84	73,10	72,72	73,40
	s	10,60	10,58	9,79	10,04	9,90	10,08	10,47	10,01	10,00	10,36	10,52	10,80	10,48	10,82

1 Satz	s	63,13	63,00	63,17	63,60	62,67	63,20	63,63	63,82	64,40	63,63	63,90	63,93	62,87	63,53
	s	9,39	9,36	9,85	9,34	9,19	9,66	9,97	9,95	9,40	10,22	10,17	9,07	8,21	8,65

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Tabelle TA37: Prozentualer Körperfettanteil

	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12	Post-Test
P2	17,3	17,6	17,4	17,6	17,8	19,2	19,3	17,5	18,5	18,4	17,3	17	18,4	18,1
P11	12,6	12,7	11,7	11,6	12,3	13,6	12,7	11,9	12,55	13,2	12,8	13,9	12,3	13,2
P13	24,9	25,1	26,7	22,9	25,9	25,8	27,1	28,1	26,8	26,9	27	25,8	27,2	25,9
P5	25,8	25,8	25,7	27,3	28,7	27,3	27,9	28,15	28,4	27,8	27,3	28,4	27,7	28
P6	31,9	31,5	29,9	30,6	28,6	29,5	28,7	30,3	29,8	29,6	29,4	31,4	30,3	30
P9	14,9	15,8	16,3	16	16,2	16,3	15,8	16,05	16,3	16,8	16,8	16,6	15,7	15,4
P10	11,5	10,5	10,6	11,2	10	10,8	11	12	11,8	10,6	11,5	10,7	11,5	9,6
P16	25,4	24,5	23,7	25,7	25,5	24,7	24,5	26,1	26,8	25,5	23,8	25,7	24,7	25,7
P3	5,7	5,8	5,8	7,3	6	5,9	5,8	5,9	6	6	6,6	6,6	5,1	6,1
P4	8,6	9,3	9	9,4	9,6	9,5	9,95	10,4	10	9,6	10,2	9,5	9,1	9,3
P12	21,5	21,4	20,3	21,5	22,3	22,4	21,75	21,1	20,6	21,7	20,7	21,3	22,6	20,8

Kombiniert	s	18,19	18,18	17,92	18,28	18,45	18,64	18,59	18,86	18,87	18,74	18,49	18,81	18,60	18,37
	s	8,14	7,90	7,77	7,68	8,06	7,86	7,95	8,25	8,13	8,07	7,61	8,16	8,27	8,30

3 Satz	s	18,27	18,47	18,60	17,37	18,67	19,53	19,70	19,17	19,28	19,50	19,03	18,90	19,30	19,07
	s	6,21	6,25	7,57	5,65	6,84	6,11	7,21	8,23	7,16	6,92	7,26	6,17	7,49	6,40

HIT	s	21,90	21,62	21,24	22,16	21,80	21,72	21,58	22,52	22,62	22,06	21,76	22,56	21,98	21,74
	s	8,44	8,38	7,72	8,19	8,34	7,89	7,82	8,02	8,05	8,07	7,47	8,64	8,04	8,81

1 Satz	s	11,93	12,17	11,70	12,73	12,63	12,60	12,50	12,47	12,20	12,43	12,50	12,47	12,27	12,07
	s	8,41	8,19	7,62	7,66	8,56	8,68	8,28	7,81	7,54	8,22	7,33	7,79	9,17	7,73

*Die Werte mit roter Färbung wurden nicht gemessen, sondern durch lineare Interpolation gewonnen.

Prozentuale Veränderung des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Probanden der Dreisatz-Trainingsgruppe

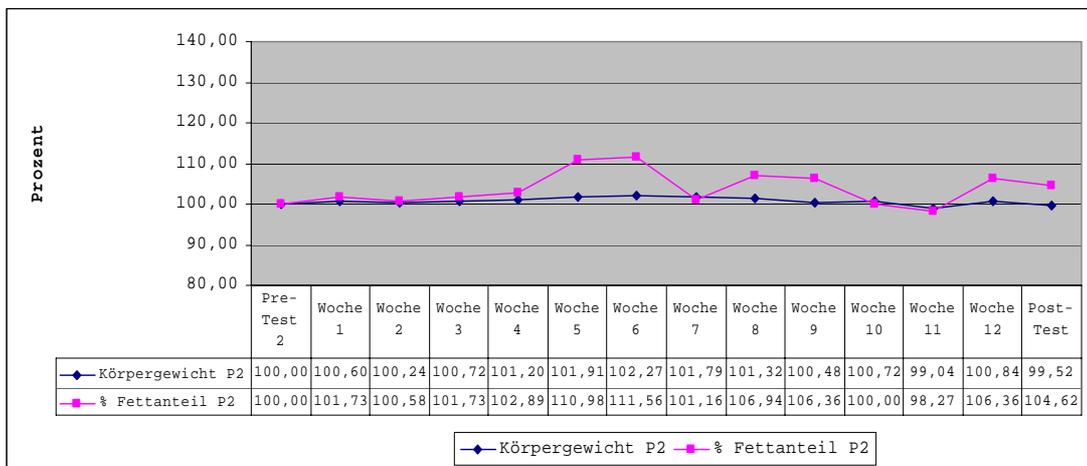


Abbildung A79: Körpergewicht und Körperfettanteil P2

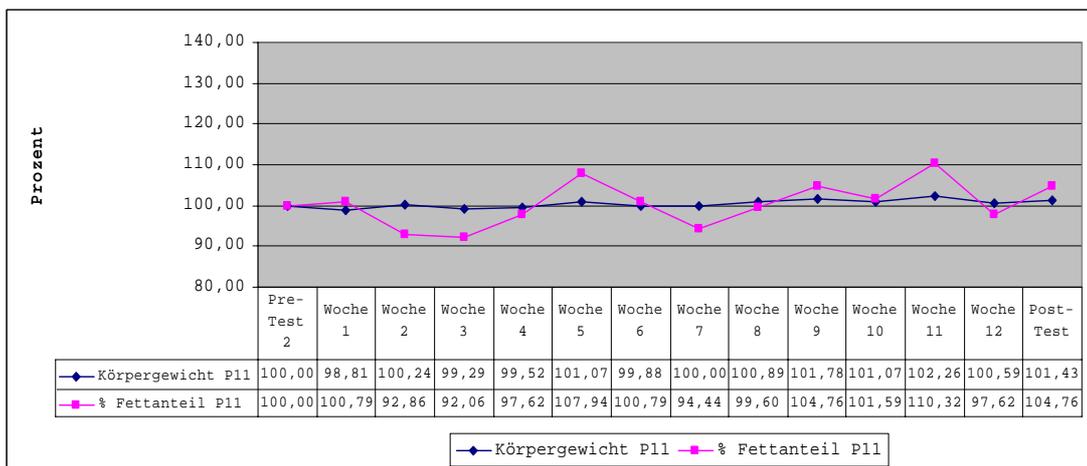


Abbildung A80: Körpergewicht und Körperfettanteil P11

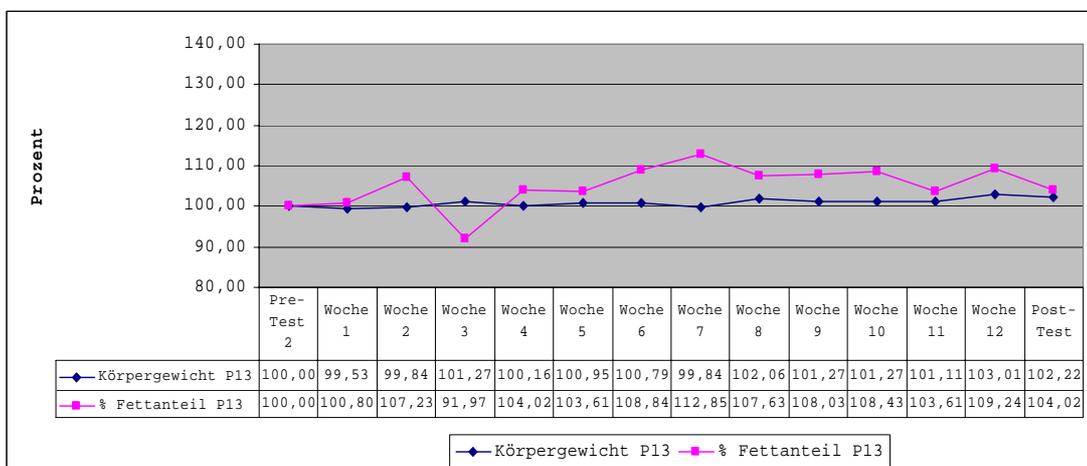


Abbildung A81: Körpergewicht und Körperfettanteil P13

Prozentuale Veränderung des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Probanden der HIT-Trainingsgruppe

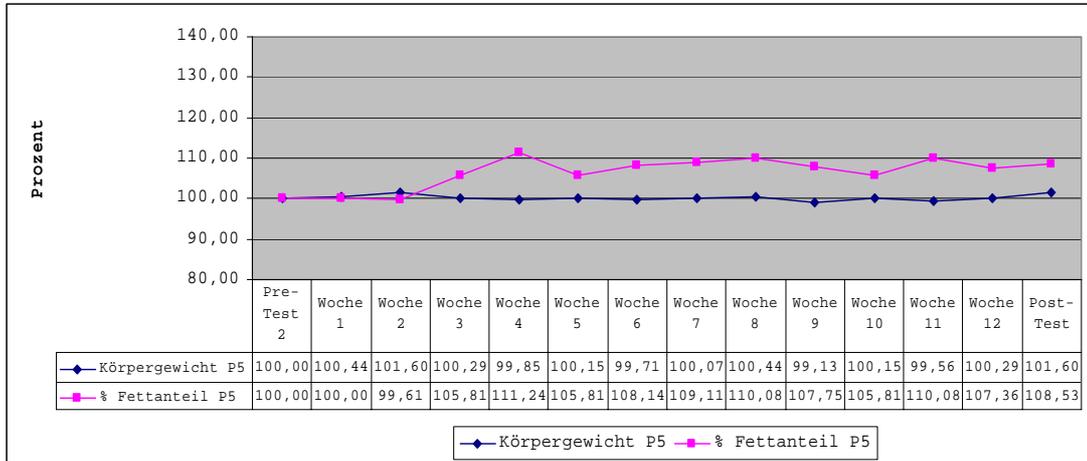


Abbildung A82: Körpergewicht und Körperfettanteil P5

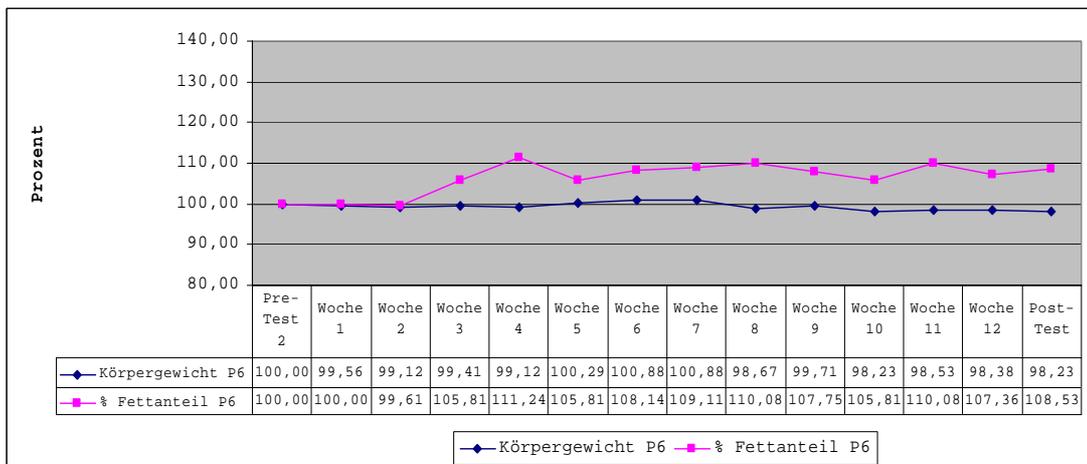


Abbildung A83: Körpergewicht und Körperfettanteil P6

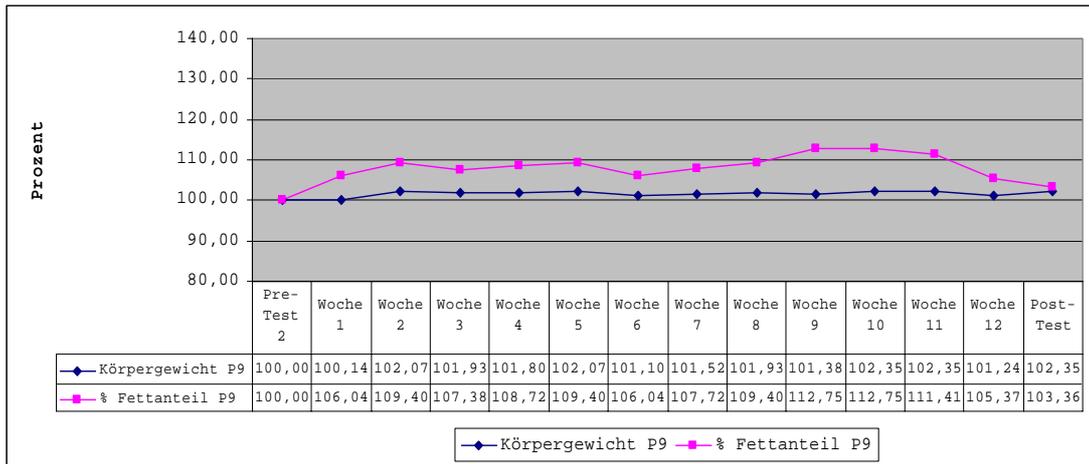


Abbildung A84: Körpergewicht und Körperfettanteil P9

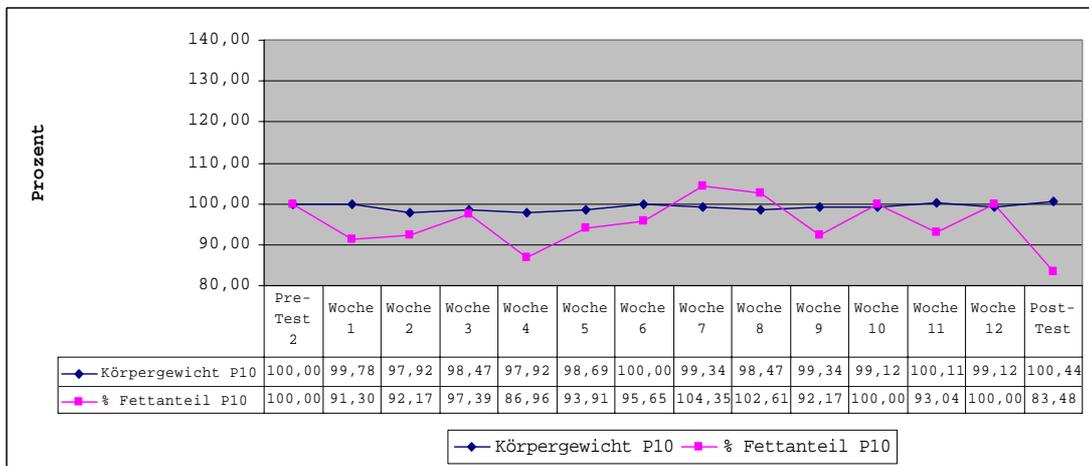


Abbildung A85: Körpergewicht und Körperfettanteil P10

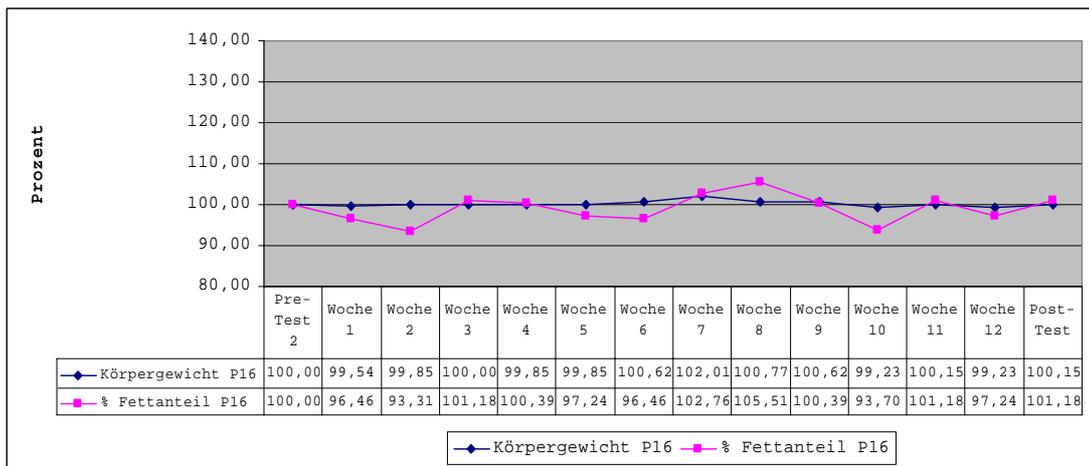


Abbildung A86: Körpergewicht und Körperfettanteil P16

Prozentuale Veränderung des Körpergewichtes und des Körperfettanteils der Probanden der Einsatz-Trainingsgruppe

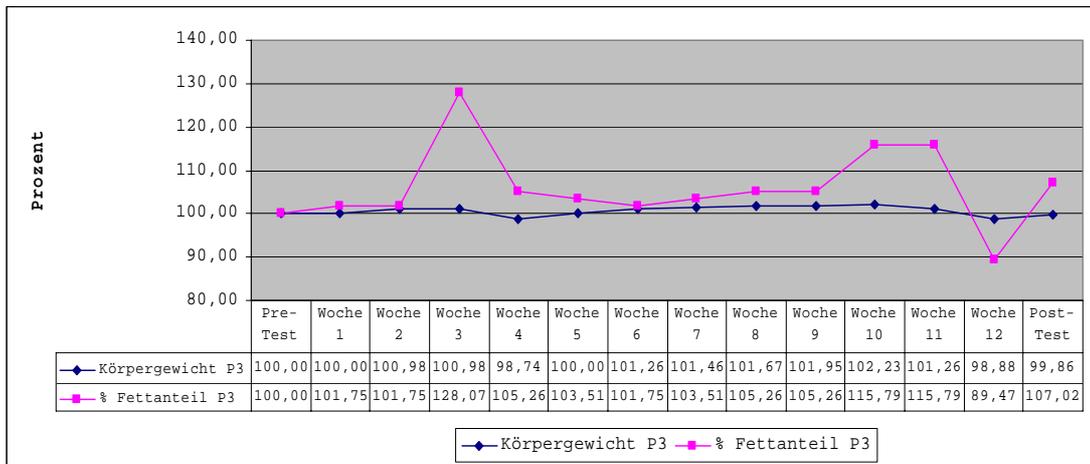


Abbildung A87: Körpergewicht und Körperfettanteil P3

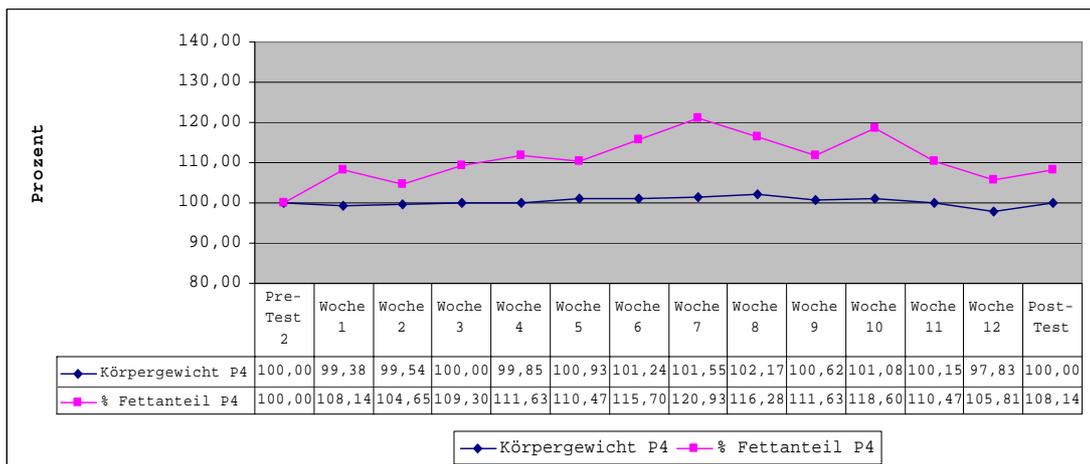


Abbildung A88: Körpergewicht und Körperfettanteil P4

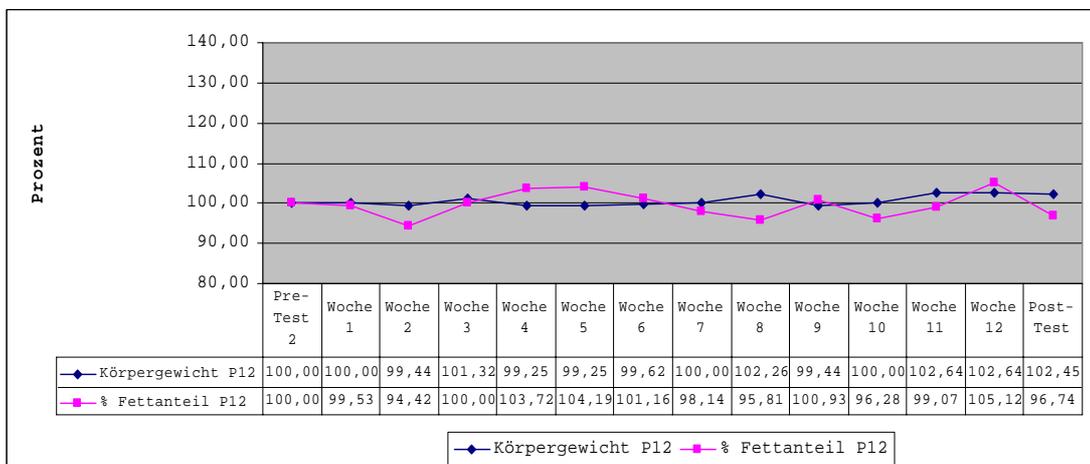


Abbildung A89: Körpergewicht und Körperfettanteil P12

Anhang C5 – Kontrollgruppe

Daten Proband K1

Tabelle TA38: Isometrische Maximalkraft (Newton)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	856	780	801	790	784	808	807	767	780	793	745	756	773
	Re	617	621	565	658	640	665	603	651	650,5	650	645	600	629

Tabelle TA39: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
K1	Kontrollgruppe	Li	8	0,541
K1	Kontrollgruppe	Re	7	0,275

Tabelle TA40: Überprüfung individueller Trends der isometrischen Maximalkraftentwicklung (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	Z	p
K1	Kontrollgruppe	Li	1	4	0	1,281	0,201
K1	Kontrollgruppe	Re	3	2	0	0,320	0,749

Tabelle TA41: Kraftausdauer (WDH)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	24	28	28	28	31	32	30	32	33	34	36	41	37
	Re	27	30	40	35	35	33	33	33	33,5	34	32	36	35

Tabelle TA42: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Kraftausdauerentwicklung (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
K1	Kontrollgruppe	Li	5 (11)	0,1196
K1	Kontrollgruppe	Re	6 (10)	0,5476

Die Werte in Klammern bezeichnen jeweils das reduzierte n, wenn dieses auf Grund von Nullwertdifferenzen reduziert wurde (vgl. Bortz, Lienert, & Boehnke, 1990, S. 257).

Tabelle TA43: Überprüfung individueller Trends der Kraftausdauerentwicklung (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
K1	Kontrollgruppe	Li	5	0	0	2,24	0,025*
K1	Kontrollgruppe	Re	3	1	1	0,32	0,749

* Signifikant ($p < 0,05$)

Tabelle TA44: Muskeldicke D_{30} (mm)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	41,00	41,08	41,80	42,28	42,76	41,39	38,28	40,52	40,95	41,38	42,85	42,95	40,98
	Re	37,90	42,56	40,24	37,62	37,46	37,78	39,10	37,80	37,89	37,97	38,14	38,89	39,57

Tabelle TA45: Muskeldicke D_{50} (mm)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	49,33	49,95	48,50	50,21	50,81	48,73	45,16	49,22	49,84	50,46	48,81	47,48	47,27
	Re	45,13	52,20	48,31	45,07	44,78	47,74	48,57	46,60	45,49	44,37	45,19	48,72	47,33

Tabelle TA46: Muskeldicke D_{70} (mm)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	57,13	58,75	56,15	58,25	59,82	57,45	55,49	58,44	59,01	59,57	58,18	56,62	54,53
	Re	53,99	60,41	57,20	55,57	56,08	56,39	56,62	54,75	54,01	53,26	56,49	55,47	56,31

Tabelle TA47: Muskeldicke D_{kom} (mm)

		Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
K1	Li	49,15	48,99	48,82	50,25	51,13	49,19	46,31	49,39	49,93	50,47	49,95	49,02	47,60
	Re	45,67	47,13	48,58	46,09	46,11	47,30	48,10	46,38	45,79	45,20	46,60	47,69	47,74

Tabelle TA48: Überprüfung der Zufälligkeit der Vorzeichenphasen der Muskeldickenveränderungen (Wallis und Moore)

Proband	Gruppe	Bein	Vorzeichenphasen (b)	Überschreitungswahrscheinlichkeit (p)
K1 30%	Kontrollgruppe	Li	4	0,003**
K1 30%	Kontrollgruppe	Re	5	0,021*
K1 50%	Kontrollgruppe	Li	6	0,096
K1 50%	Kontrollgruppe	Re	6	0,096
K1 70%	Kontrollgruppe	Li	6	0,096
K1 70%	Kontrollgruppe	Re	7	0,275

* Signifikant ($p < 0,05$)** Hoch signifikant ($p < 0,01$)

Tabelle TA49: Überprüfung individueller Trends der Kraftausdauerentwicklung (Cox und Stuart)

Proband	Gruppe	Bein	+	-	=	z	p
K1 30%	Kontrollgruppe	Li	3	2	0	0,32	0,749
K1 30%	Kontrollgruppe	Re	2	3	0	0,32	0,749
K1 50%	Kontrollgruppe	Li	3	2	0	0,32	0,749
K1 50%	Kontrollgruppe	Re	3	2	0	0,32	0,749
K1 70%	Kontrollgruppe	Li	3	2	0	0,32	0,749
K1 70%	Kontrollgruppe	Re	2	3	0	0,32	0,749

Tabelle TA50: Körpergewicht und Körperfettanteil Proband K1

	Pre-Test 2	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8	Woche 9	Woche 10	Woche 11	Woche 12
Körpergewicht (Kg)	74,10	74,30	74,30	74,40	73,80	73,80	71,80	71,60	72,10	72,60	72,80	72,80	73,10
Körperfettanteil (%)	11,7	12,9	12,9	12,7	12	11,5	11,2	12	11,7	11,4	12	11,8	12,4

Daten Probanden K2-K5

Tabelle TA51: Isometrische Maximalkraftwerte Probanden K2-K5 (Kontrollgruppe)
Pre-Post (Newton)

Proband	Isometrische Maximalkraft Pre-Test	Isometrische Maximalkraft Post-Test
K2 Li	363	365
K2 Re	420	434
K3 Li	506	501
K3 Re	496	492
K4 Li	350	350
K4 Re	425	384
K5 Li	682	640
K5 Re	675	701
8	489,63	483,38
s	128,86	128,95

Tabelle TA52: Kraftausdauerwerte Probanden K2-K5 (Kontrollgruppe)
Pre-Post (WDH)

Proband	Kraftausdauer Pre-Test	Kraftausdauer Post-Test
K2 Li	29	28
K2 Re	29	26
K3 Li	20	21
K3 Re	23	24
K4 Li	15	17
K4 Re	20	22
K5 Li	20	20
K5 Re	21	23
8	22,13	22,63
s	4,79	3,46

Tabelle TA53: Muskeldicke der Probanden K2-K5 (mm)

Proband	30% Pre-Test	30% Post-Test	50% Pre-Test	50% Post-Test	70% Pre-Test	70% Post-Test	Dkom Pre-Test	Dkom Post-Test
K2 Li	36,81	35,16	50,78	51,86	53,63	57,52	47,07	48,18
K2 Re	34,11	32,40	46,92	49,13	52,08	55,17	44,37	45,57
K3 Li	26,31	26,40	35,27	34,11	50,84	50,03	37,47	36,85
K3 Re	26,35	25,89	37,24	35,35	52,37	50,97	38,66	37,40
K4 Li	24,66	23,26	36,70	33,46	46,90	43,42	36,09	33,38
K4 Re	27,89	25,30	37,24	34,30	50,55	49,36	38,56	36,32
K5 Li	38,72	37,45	48,08	48,94	63,74	63,63	50,18	50,01
K5 Re	35,41	35,87	45,49	46,40	62,24	62,20	47,71	48,16
̄	31,28	30,21	42,22	41,69	54,04	54,04	42,51	41,98
s	5,54	5,60	6,19	8,05	5,88	6,89	5,44	6,62

Tabelle TA54: Körpergewicht (Kg) und prozentualer Körperfettanteil (%)
Probanden K2-K5

Proband	Körpergewicht Pre-test	Körpergewicht Post-Test	Körperfettanteil Pre-Test	Körperfettanteil Post-Test
K2	69,3	66,1	31,5	30,6
K3	63,7	62,0	26,9	22,8
K4	61,1	59,6	(23,1)	
K5	86,4	87,2	16,5	16,4
̄	70,13	68,73	24,97	23,27
s	11,38	12,61	7,68	7,11

*Auf Grund des fehlenden Körperfetttestes des Probanden K4 wird auch der Pre-Test bei der Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung der prozentualen Körperfettanteile nicht einbezogen